

**ВЕСТНИК**  
**САРАТОВСКОГО**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**ТЕХНИЧЕСКОГО**  
**УНИВЕРСИТЕТА**  
**2009**

**№ 3 (41)**  
**Выпуск 2**

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.  
Выходит один раз в квартал  
Сентябрь 2009 г.

*Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых журналов и научных изданий, утвержденный президиумом ВАК Министерства образования и науки РФ, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук по направлениям: машиностроение, управление, вычислительная техника и информатика, энергетика, электроника, измерительная техника, радиотехника и связь, экономика, социология*

<b>Главный редактор</b>	д.и.н., профессор И.Р. Плеве
<b>Зам. главного редактора</b>	д.т.н., профессор А.А. Сытник
<b>Ответственный секретарь</b>	д.т.н., профессор А.А. Игнатъев

**Редакционный совет:** д.э.н. В.Р. Атоян, д.т.н. В.И. Волчихин, д.т.н. В.А. Голенков, д.и.н. В.А. Динес, д.х.н. В. Зеленский (Польша), д.т.н. В.А. Игнатъев, д.т.н. В.В. Калашников, д.т.н. И.А. Новаков, д.и.н. И.Р. Плеве (председатель), д.т.н. А.Ф. Резчиков, д.социол.н. С.Б. Суоров, д.т.н. А.А. Сытник (заместитель председателя), д.ф.-м.н. Ян Авреичевич (Польша), д.э.н. Улли Арнольд (Германия), д.ф.-м.н. Энтони Мерсер (Великобритания), д.э.н. Э. де Соузе Феррейра (Португалия), д.т.н. Т. Чермак (Чехия), д.э.н. Ю.В. Шленов.

**Редакционная коллегия:** д.т.н. К.П. Андрейченко, д.т.н. Ю.С. Архангельский, д.филос.н. А.С. Боршов, д.т.н. А.С. Денисов, д.т.н. Ю.Г. Иващенко, д.т.н. Ю.Н. Климочкин, д.т.н. В.А. Коломейцев, д.т.н. А.В. Королев, д.т.н. В.А. Крысько, д.и.н. Г.В. Лобачева, д.т.н. В.И. Лысак, д.т.н. В.Н. Лясников, д.т.н. А.И. Финаенов, д.т.н. М.А. Щербаков.

Редактор Л.А. Скворцова  
Компьютерная верстка Ю.Л. Жупиловой  
Перевод на английский язык А.М. Руста

Адрес редакции:  
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77  
Телефон: (845 2) 52 74 02  
E-mail: vestnik @ sstu. ru  
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>  
Факс: (845 2) 52-53-02

Подписано в печать 25.09.09  
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.  
Усл. печ. л. 44,0 Уч.-изд. л. 40,92  
Тираж 500 экз. Заказ 454  
Отпечатано в Издательстве СГТУ,  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

**Подписной индекс 18378**  
(каталог «Газеты. Журналы» на 2-е полугодие 2009 г.)

ISSN 1999-8341

© Саратовский государственный  
технический университет, 2009

**VESTNIK  
SARATOV  
STATE  
TECHNICAL  
UNIVERSITY  
2009**

**№ 3 (41)  
Edition 2**

Scientific Journal

Since 2003  
Once in a quarter  
September 2009

*This journal is included into the list of leading reviewed journals and scientific publications approved by the presidium of Ministry of Education and Sciences of Russian Federation where major scientific thesis's results for academic degree competition for a doctor and a candidate of sciences in machinebuilding, management, computer technics and information sciences,; power engineering, electronics, measuring technology, radio engineering and connection directions, economics, sociology are published*

**Editor-in-chief**

Doctor of Historical Sciences, Pr. I.R. Pleve

**Editor-in-chief assistant**

Doctor of Technical Sciences, Pr. A.A. Sytnik

**Executive secretary**

Doctor of Technical Sciences, Pr. A.A. Ignatyev

**Drafting committee:** Pr. V.R. Atoyan, Pr. V.I. Volchihin, Pr. V.A. Golenkov, Pr. V.A. Dines, Pr. V. Zelensky (Poland), Pr. V.A. Ignatyev, Pr. V.V. Kalashnikov, Pr. I.A. Novakov, Pr. I.R. Pleve (Chairman), Pr. A.F. Rezhnikov, Pr. A.A. Sytnik (Vice of the Chairman), Pr. S.B. Surovov, Pr. Yan Avreytsevich (Poland), Pr. Ulli Arnold (Germany), Pr. Anthony Merser (UK), Pr. E. D'Sousa Ferreira (Portugal), Pr. T. Chermak (Chezh Republic), Pr. Y.V. Shlenov.

**Editorial board:** Pr. K.P. Andreychenko, Pr. Y.S. Arkhangelsky, Pr. A.S. Borshov, Pr. A.S. Denisov, Pr. Y.G. Ivashenko, Pr. Y.N. Klimochkin, Pr. V.A. Kolomeitsev, Pr. A.V. Korolyov, Pr. V.A. Krysko, Pr. G.V. Lobatcheva, Pr. V.I. Lysak, Pr. V.N. Lyasnikov, Pr. A.I. Finaenov, Pr. M.A. Sherbakov.

Editor L.A. Skvortsova  
Computer-based page-proof J.L. Zhupilova  
Rendering A.M. Rust

Editorial office: 77, Politechnicheskaya Street  
Saratov, 410054  
Russia  
Telephone: +8452/52-74-02  
E-mail: vestnik @ sstu. ru  
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>  
Fax: +8452/52-53-02

Signed for publishing: 25.09.09  
Format 60×84 1/8 Paper offset.  
Apr. tp. l. 44,0 Acc.-pbl. l. 40,92  
Edition 500 psc. Order 454  
Printed in EPC of SSTU,  
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

В журнале представлены материалы Всероссийской научно-технической конференции «Совершенствование техники, технологий и управления в машиностроении (СГТУ-2009)».

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАШИНОСТРОЕНИЕ

<b>Артемов И.И., Кривчик В.Д., Рудин А.В., Артемова Н.Е., Келасьев В.В.</b> Технология обеспечения долговечности деталей машиностроения .....	11
<b>Барац Я.И., Будейкина И.Е.</b> Источник теплоты при алмазном выглаживании сферическим индентором .....	15
<b>Барац Я.И., Епифанов М.А.</b> Применение зуборезных инструментов с круглыми резцами для обработки конических и гипоидных зубчатых передач .....	18
<b>Барац Я.И., Милованова Л.Р.</b> Теплофизические основы точности размеров и геометрической формы при обработке отверстий .....	20
<b>Бекренёв Н.В., Протасова Н.В., Петровский А.П.</b> Обоснование метода повышения эффективности ультразвуковой обработки конструкционных материалов на основе установления корреляции амплитудно-частотных параметров процесса и фрактальной размерности их структуры .....	23
<b>Бекренев Н.В., Шумилин А.И., Фирсов В.М.</b> Физические закономерности и технологические особенности шлифования деталей машино- и приборостроения металлическим инструментом с микронеровностями, образованными электроискровым способом .....	27
<b>Бочкарев П.Ю., Бокова Л.Г.</b> Процедура оценки технологичности деталей в системе автоматизированного планирования технологических процессов механообработки .....	30
<b>Бочкарев П.Ю., Елисеев Д.А., Шалунов В.В.</b> Общие принципы построения автоматизированной системы планирования технологических процессов в условиях многономенклатурных механообработывающих систем .....	33
<b>Браилов И.Г., Андросов С.П.</b> Касательная к эвольвенте, выраженной векторной функцией .....	36
<b>Бржозовский Б.М.</b> Проблемы моделирования и идентификации сложных технологических систем .....	39
<b>Бржозовский Б.М., Захаров О.В., Горшков В.В., Автономов М.Э.</b> Бесцентровое измерение отклонения от круглости высокоточных деталей .....	42
<b>Бржозовский Б.М., Захарченко М.Ю., Захарченко Ю.Ф.</b> Методика решения нестационарной гидродинамической задачи по прохождению звуковых волн через струю жидкости .....	45
<b>Бржозовский Б.М., Захарченко М.Ю., Захарченко Ю.Ф.</b> Решение стационарной гидродинамической задачи по прохождению звуковых волн через струю жидкости .....	49
<b>Бржозовский Б.М., Мартынов В.В., Зинина Е.П.</b> Технология и оборудование получения режущего инструмента с наноструктурированной поверхностью режущей кромки .....	53
<b>Виноградов М.В.</b> Совершенствование приводов подачи прецизионных станков .....	56
<b>Головченко А.О., Таныгин А.Ю., Вигдорович В.И.</b> Защитные составы на основе рапсового масла, содержащего в качестве наполнителя микроразмерные добавки цинка и графита .....	59
<b>Гонтарев А.П., Лукьяненко В.В., Погораздов В.В., Сапетов М.В., Шпак П.Ф.</b> Оптимизация осевого профиля тел качения буксового подшипника с учётом его эксплуатационной адаптации .....	62
<b>Грачев Д.В.</b> Применение нечеткого логического вывода для моделирования силового взаимодействия в зоне резания .....	65
<b>Гребнева А.С.</b> Автоматизированные испытания шпиндельных узлов прецизионных станков .....	68
<b>Денисов А.С., Боровиков Г.А., Асоян А.Р., Суханкин А.А.</b> Особенности технологии восстановления коренных опор блока цилиндров для повышения надежности дизельных двигателей .....	70
<b>Денисов А.С., Кулаков А.Т., Погораздов В.В., Тугушев Б.Ф., Горшенина Е.Ю., Видинеев А.А.</b> Обеспечение эксплуатационных свойств коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 при ремонте и восстановлении .....	74
<b>Добряков В.А.</b> Совершенствование гибкого обслуживания по состоянию при эксплуатации технологических объектов управления .....	78
<b>Евсеев Д.Г., Скороход А.А.</b> Повышение эффективности шлифования рельсов .....	81
<b>Заковоротный В.Л., Динь Тунг Фам.</b> Устойчивость эволюционной траектории механической системы, взаимодействующей с трибосредой .....	84
<b>Зубарев Ю.М., Семейкин Д.В., Круглов А.И., Галышев А.А.</b> Повышение работоспособности твердосплавных инструментов, применяемых на операциях чистовой механической обработки .....	92

<b>Игнатьев А.А., Бондарев В.В., Каракозова В.А.</b> Применение контроля виброакустических колебаний станков для выбора режимов обработки .....	97
<b>Казинский А.А.</b> Исследование динамики движения фронта дендритной кристаллизации сварочного, наплавочного шва .....	100
<b>Киселев Е.С., Романов С.А., Лексин Е.Н., Благовский О.В.</b> Направленное формирование остаточных напряжений путем использования технологических возможностей комбинированной обработки заготовок .....	103
<b>Клименков А.Н.</b> Моделирование процесса формообразования высокоресурсных труб методами гибки .....	106
<b>Кожуховская Л.Я., Шикин Ю.А.</b> Обеспечение точности обработки криволинейных поверхностей валов на станках с ЧПУ .....	108
<b>Козлов А.М., Козлов А.А.</b> Повышение износостойкости валов формированием типа направления неровностей их поверхности при шлифовании .....	112
<b>Косырев С.П., Синчурин Д.В.</b> Оценка эксплуатационных критериев конструкции резинометаллических манжет с применением метода конечных элементов .....	114
<b>Косырев С.П., Кудашева И.О., Марьяна Н.Л.</b> Дифференцированное гидродробеструйное упрочнение наружных поверхностей элементов коленчатого вала форсированного дизеля .....	116
<b>Кочадаев А.В., Пластинкин А.В.</b> Процедура выбора схем обработки поверхностей деталей в системе планирования многономенклатурных технологических процессов .....	119
<b>Кревчик В.Д., Соколов В.О., Васин Д.В.</b> Управление качеством поверхностного слоя ферритовых изделий при шлифовании .....	122
<b>Кузьмиченко Б.М., Синягин А.В.</b> Эффективность использования оборудования плазменной резки в многономенклатурном производстве .....	125
<b>Куранов В.Г., Виноградов А.Н., Константинов Р.А.</b> Повышение качества шаров подшипников 180302 .....	127
<b>Кутин А.А.</b> Организация разработки и производства конкурентоспособных станков с ЧПУ .....	130
<b>Ляникова А.В.</b> Комбинированная технология механической и физико-химической обработки титановых деталей машин и приборов в ультразвуковом поле с последующим электроплазменным напылением наноструктурированных покрытий .....	135
<b>Мартьянов В.В.</b> Управление уровнем размерной настройки станка: аналитический подход .....	138
<b>Митин С.Г.</b> Подсистема проектирования рациональной структуры технологических операций для оборудования фрезерной группы .....	141
<b>Никитин А.А., Дробязко С.В.</b> Консервативная свч диагностика подшипников буксового узла .....	144
<b>Орлов Б.С., Ермольчева Н.В.</b> К вопросу расчета параметров частично регулярного микрорельефа поверхности деталей при дискретном вибрационном резании .....	147
<b>Погораздов В.В., Горбачёв В.О.</b> Компьютерная поддержка процесса радиального затылования фасонных фрез шлифовальным кругом .....	150
<b>Погораздов В.В., Горбачёв В.О.</b> О геометрии режущих кромок и производящих поверхностей зуборезных головок со стержневыми резцами .....	154
<b>Подвойский А.О., Боровских В.Е.</b> Правило исчерпания предела выносливости объекта в условиях стохастической изменчивости поля напряжений .....	156
<b>Пряхин И.В., Давиденко О.Ю.</b> Особенности контактного взаимодействия рабочих поверхностей подшипника при нанесении функционального покрытия в процессе их совместной доработки в собранном виде .....	161
<b>Соколов В.О.</b> Обеспечение точности профильной алмазно-абразивной обработки изделий из труднообрабатываемых материалов .....	164
<b>Соколов В.О., Игонин А.И., Игонин В.А.</b> Совершенствование технологии борирования стальных пластин .....	167
<b>Шейко Л.И., Приказчиков С.Я., Погораздов В.В.</b> Двухкритериальная оптимизация конструктивных постоянных многокоординатных зубообрабатывающих станков для конических и гипоидных передач .....	169
<b>Яковлева А.М.</b> Процедура выбора обрабатывающего инструмента для станков протяжной группы в автоматизированной системе планирования технологических операций .....	173
<b>НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ</b>	
<b>Булкина Н.В., Масумова В.В., Вулах Н.А., Кропотина А.Ю., Полосухина Е.Н., Поделинская В.Т.</b> Особенности применения ультразвука при сложных физико-химических реакциях в стоматологии .....	177
<b>Зубарев Ю.М., Петров В.М., Никитин В.А., Летенко Д.Г., Федосов А.В.</b> Решение частных триботехнических задач энергомашиностроения за счет наноструктуризации технологических сред .....	179

<b>Лясников В.Н., Нефёдова А.К., Черникова И.Э., Дударева О.А.</b> Основы формирования наноструктурированных биоконпозиционных покрытий электроплазменным напылением .....	184
<b>Лясников В.Н., Перинская И.В., Перинский В.В., Ващурин В.О.</b> Применение ионной имплантации аргона при создании ультрадисперсной наномодифицированной поверхности титановых дентальных имплантатов .....	186

#### **АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ**

<b>Александров А.Г., Степанов М.Ф., Михайлова Л.С., Брагин Т.М., Степанов А.М.</b> Развитие концепции Автоматического решения задач теории управления в системе ГАММА-3 .....	190
<b>Бирюков В.П., Мурин С.В.</b> Анализ и обеспечение управляемости технологического процесса как объекта управления составом и вязкостью вискозы .....	196
<b>Ефремова Т.А.</b> Моделирование статических характеристик электрогидравлического преобразователя импульсного действия методом планирования эксперимента .....	200
<b>Ивлева А.С., Мурин С.В.</b> Математическая модель деформационного режима процесса окисления панно волокна в производстве углеродных волокон.....	203
<b>Игнатьев А.А., Самойлова Е.М.</b> Совершенствование управления качеством продукции на основе системы мониторинга с элементами искусственного интеллекта .....	207
<b>Калюжный А.А., Бирюков В.П.</b> Автоматизированная система исследования упругодиссипативных характеристик методом динамического механического анализа.....	209
<b>Капралова О.А.</b> Математическая модель кинетики окисления полиакрилонитрильного волокна в производстве углеродных волокон .....	213
<b>Климов А.П., Садчикова Г.М., Бирюков В.П.</b> Динамическая развязка каналов процесса приготовления резиновой смеси .....	216
<b>Климов А.П., Садчикова Г.М.</b> Математическая модель объекта управления высокоэластическим модулем резинотехнических изделий .....	220
<b>Мурин С.В.</b> Компенсация возмущающих воздействий в канале управляющего воздействия .....	223
<b>Серова А.А., Игнатьев С.А.</b> Автоматизированная оценка динамического состояния станков для оперативной корректировки технологического процесса изготовления деталей с использованием базы данных .....	227

#### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

<b>Барышникова Е.С., Иващенко В.А.</b> Модели знаний об аварийных ситуациях при производстве листового стекла .....	231
<b>Бровкова М.Б.</b> Интеллектуализация принятия управленческих решений на основе информационной компьютерной поддержки для автоматизированного машиностроительного производства.....	235
<b>Бровкова М.Б., Вислобокова О.И., Недопекин А.Н.</b> Информационные аспекты автоматизации оценки качества учебного перевода с иностранного языка.....	238
<b>Бровкова М.Б., Щеглов А.А.</b> Разработка автоматизированного советника для принятия решений на биржах ММВБ и РТС с использованием авторегрессионной модели со скользящей средней.....	241
<b>Пименов М.Ю.</b> Описание структуры электротехнических средств в задаче технической диагностики.....	244
<b>Уткин Н.Н.</b> Моделирование беспроводной сенсорной сети виброакустического диагностирования в эмуляторе TOSSIM.....	247

#### **ЭКОНОМИКА**

<b>Андрющенко С.А., Сёмушкина А.В.</b> Разработка стратегии устойчивого развития для машиностроительных предприятий на основе кооперации.....	250
<b>Белюсова Н.Г., Пчелинцева И.Н.</b> Участие промышленных предприятий в социально-инвестиционных программах .....	252
<b>Валгуцкова О.В.</b> Обострение и разрешение противоречий в социально-трудовых отношениях электроэнергетики в период экономического кризиса .....	255
<b>Горячева Т.В.</b> Техническое регулирование как инструмент промышленной политики государства .....	258
<b>Дергачева О.А.</b> Оценка эколого-экономического механизма системы охраны окружающей среды на предприятии .....	261
<b>Еремينا Е.В.</b> Некоторые аспекты финансирования инновационной деятельности машиностроительных предприятий.....	264
<b>Жиц Г.И., Захарченко Е.С.</b> О некоторых аспектах инновационного развития машиностроения .....	266
<b>Игнатьева Е.Ю.</b> Кадровая политика в банковской сфере в условиях кризиса .....	269
<b>Кесян К.М.</b> Развитие системного подхода к управлению научно-производственным комплексом в промышленности .....	272

---

<b>Клименков А.Н.</b> Эффективность образования как фактор влияния на экономику малого города .....	276
<b>Коровин Е.Г.</b> Улучшение качества управления финансовыми потоками на инновационных предприятиях .....	279
<b>Краснова О.В.</b> Применение сценарного моделирования (планирования) для оценки и выбора вариантов инвестирования на машиностроительных предприятиях .....	282
<b>Малый В.И.</b> Современные антикризисные аспекты государственной инновационной политики России .....	285
<b>Мызрова О.А.</b> Машиностроение как кластер инновационной экономики .....	289
<b>Нуштаева Е.В.</b> Логистическое бюджетирование как инструмент управления финансовыми потоками предприятия .....	292
<b>Павлова Е.А.</b> Необходимость аттестации рабочих мест по условиям труда.....	295
<b>Плотников А.Н., Плотников Д.А.</b> Анализ инвестиционных потоков малых наукоемких высокотехнологичных предприятий технопарковой структуры «Волга-техника».....	298
<b>Подсумкова Л.А.</b> К вопросу об организации труда на предприятиях машиностроения .....	302
<b>Пчелинцева И.Н., Алексеева Н.В.</b> Факторы активизации инвестирования социальной сферы машиностроительного предприятия.....	306
<b>Рахманина И.А.</b> Логистическое управление бизнес-процессами .....	310
<b>Рыжова О.А.</b> Эволюция систем планирования и управления деятельностью предприятия и особенности их внедрения.....	313
<b>Санкова Л.В., Есипов А.С.</b> Новые формы трудовых отношений в России .....	316
<b>Сердюкова Л.О.</b> Проблемы капитализации объектов интеллектуальной собственности .....	319
<b>Славнецкова Л.В.</b> Формирование региональных инновационных систем.....	322
<b>Федорчук Ю.М., Исаева О.Д.</b> Кадровое обеспечение инновационной экономики в машиностроении .....	325
<b>Федорчук Ю.М., Такишина Е.А., Одинцова Т.Н.</b> Проблематика системы профессионального образования в рамках современных организационно-правовых форм.....	329
<b>Шевченко С.В.</b> Лизинг патентов как форма софинансирования венчурных проектов .....	333
<b>Янченко Е.В.</b> Социально-трудовые отношения на современном предприятии: проблемы и перспективы .....	336
<b>СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ</b>	
<b>Крючков В.Н.</b> Ступени креативности в вузе .....	340
<b>Петрова Ж.В.</b> Формирование рациональной кадровой политики как решающий фактор развития предприятий.....	343
<b>ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ</b>	
<b>Лобачева Г.В., Карабут А.К.</b> Методология исторического знания: новые подходы .....	346

In Journal materials of the All-Russia scientific and technical conference «Perfection of technics, technologies and management in mechanical engineering (PTTM-2009)» are presented.

## CONTENTS

### MACHINE-BUILDING

<b>Artemov I.I., Krevchik V.D., Rudin A.V., Artemova N.E., Kelasyev V.V.</b> Technology, providing long-life of the machinery parts .....	11
<b>Baratz Ia.I., Budeykina I.E.</b> Source of heat in diamond burnishing by spherical indenter .....	15
<b>Baratz Ia.I., Epifanov M.A.</b> Application of gear-cutting tools with round cutters for machining of conic and hypoid gearings .....	18
<b>Baratz Y.I., Milovanova L.R.</b> The thermophysical basis of size exactness and geometrical form at treatment of holes .....	20
<b>Bekrenev N.V., Protasova N.V., Petrovsky A.P.</b> Substantiation method of increase efficiency of the ultrasonic processing constructional materials on the basis of the establishment of correlation peak-frequency parameters of process and fractioning dimensions of their structure .....	24
<b>Bekrenev N.V., Shumilin A.I., Firsov V.M.</b> Physical laws and technological features of grinding of details machine-and instrument making the metal tool with the microroughnesses formed in the electro-spark way .....	27
<b>Bochkarev P.Y., Bokova L.G.</b> The procedure of an estimation of adaptability to manufacture of details in the system of the automized planning master schedules of a machining .....	31
<b>Bochkarev P.Y., Eliseev D.A., Shalunov V.V.</b> Common principles of construction of the automized system of planning of master schedules .....	33
<b>Brailov I.G., Androsov S.P.</b> Tangent of an evolvent, expressed by the vector function .....	36
<b>Brzhozovsky B.M.</b> Problems of modeling and identification of complex technological systems .....	39
<b>Brzhozovsky B.M., Zakharov O.V., Gorshkov V.V., Avtonomov M.E.</b> The centerless measurement of roundness deviation of pinpoint accuracy details .....	42
<b>Brzhozovsky B.M., Zakharchenko M.Yu., Zakharchenko Yu.F.</b> Methods decision no-stationary hydro-dynamic problem on pass sound-wave through stream liquid .....	45
<b>Brzhozovsky B.M., Zakharchenko M.Yu., Zakharchenko Yu.F.</b> Decision stationary hydro-dynamic problem on pass sound-wave through stream liquid .....	49
<b>Brzhozovsky B.M., Martynov V.V., Zinina E.P.</b> Technology and the equipment of cutting tools reception with nanostructured cutting edge surface .....	53
<b>Vinogradov M.V.</b> Perfection of drives of giving Precision machine tools .....	56
<b>Golovchenko A.O., Tanygin A.Yu., Vigdorovich V.I.</b> Protective formulations based on rapeseed oil, which contains on ingredient supplements of zinc and graphite .....	59
<b>Gontarev A.P., Lukyanenko V.V., Pogorazdov V.V., Sapetov M.V., Shpak P.F.</b> Axial profile optimization of solids of revolution of journal bearing with account for its operation adaptation .....	62
<b>Grachev D.</b> Fuzzy logic inferens for cutting force modelling .....	65
<b>Grebneva A.S.</b> Automated tests spindle of unit of precision machine tools .....	68
<b>Denisov A.S., Borovikov G.A., Asoyan A.R., Suhankin A.A.</b> Features technology rehabilitation of indigenous brackets cylinder blocks to improve reliability diesel engines .....	71
<b>Denisov A.S., Kulakov A.T., Pogorazdov V.V., Tugushev B.F., Gorshenina E.Y., Vidineev A.A.</b> The properties of KAMAZ-740 engine crankshaft after the repair and rebuilding .....	74
<b>Dobryakov V.A.</b> Perfection of flexible service on a condition at operation of technological objects of management .....	78
<b>Yevseev D.G., Skorokhod A.A.</b> Effectiveness increase of rail grinding .....	81
<b>Zakovorotny V.L., Dinh Tung Pham.</b> The evolution Trajectory stability for mechanical system interacting with tribomedia .....	84
<b>Zubarev J.M., Semeikin D.V., Kruglov A.I., Galyshev A.A.</b> Improving performance carbide tools used operations for finishing machining .....	92

<b>Ignatyev A.A., Bondarev V.V., Karakozova V.A.</b> Application of the control of vibroacoustic fluctuations of machine tools for the choice of modes of processing .....	97
<b>Kazinsky A.A.</b> Kinetics of concentrated oversaturation before the front of dendritic crystallization of welding – surfacing bath .....	100
<b>Kiselev E.S., Romanov S.A., Laksin E.N., Blagovsky O.V.</b> The directed forming of residual stresses by using technological facilities of combined processing of blanks .....	103
<b>Klimenkov A.N.</b> Simulation of forming process of highly resourced tubes by curving method .....	106
<b>Kojuhovskaya L.Ya., Shikin Yu.A.</b> Ensuring of accuracy processing of shafts curvilinear surfaces with CNC.....	108
<b>Kozlov A.M., Kozlov A.A.</b> Shafts' wear-resistance rising by creating surface-deviations in a certain direction in the process of grinding .....	112
<b>Kosyrev S.P., Sinchurin D.V.</b> Estimation of operational criteria of the design cuffs with application of the method of final elements .....	115
<b>Kosyrev S.P., Kudasheva I.O., Mar'ina N.L.</b> Differentiated hydrofractionstream hardening of external surfaces of elements of the cranked shaft of the forced diesel engine .....	117
<b>Kochedaev A.V., Plastinkin A.V.</b> The procedure of a schemes choice of processing surfaces details in the system of planning multinomenclature technological processes .....	119
<b>Krevchik V.D., Sokolov V.O., Vasin D.V.</b> Quality management of a superficial layer of ferrite products at grinding.....	123
<b>Kuzmichenko B.M., Sinyagin A.V.</b> Efficiency of the use of equipment of the plasma cutting is in a multitop-level production .....	125
<b>Kuranov V.G., Vinogradov A.N., Konstantinov R.A.</b> Improvement of quality of bearings spheres 180302 .....	127
<b>Kutin A.A.</b> Competitive CNC machine tools research and production planning.....	130
<b>Lyasnikova A.V.</b> Combined technology for mechanical and physical-chemical treatment titanium details of machines and instruments in ultrasonic field followed plasma-spraying nanostructured coatings.....	135
<b>Martynov V.V.</b> Control of level of machine tool dimensional adjustment: the analytical approach.....	139
<b>Mitin S.G.</b> Design subsystem of rational structure technological operations for milling group equipment .....	141
<b>Nikitin A.A., Drobjzsko S.V.</b> Conservative shf diagnostics of bearings axle box of the railway .....	144
<b>Orlov B.S., Ermolcheva N.V.</b> To question of the calculation parameter partly regular microrelief surfaces of the details under discrete vibratory cutting .....	148
<b>Pogorazdov V.V., Gorbachev V.O.</b> Computer support process of creating the back surface grinding wheel shaped cutters .....	150
<b>Pogorazdov V.V., Gorbachev V.O.</b> The geometry of cutting edges and producing surfaces gear heads of bar cutter .....	154
<b>Podvoyskiy A.O., Borovskikh V.E.</b> Rule of object endurance limit exhaustion in conditions of stochastic variability of pressure field.....	157
<b>Pryahin I.V., Davidenko O.Y.</b> Features of contact interaction of bearing's working surfaces during the plating of functional coat in their joint finalization in bodily .....	161
<b>Sokolov V.O.</b> Maintenance of accuracy profile diamond-abrasive processings of products from intractable materials .....	164
<b>Sokolov V.O., Igonin A.I., Igonin V.A.</b> Perfecting of production engineering of borating steel plates .....	167
<b>Sheiko L.I., Prikazchikov S.J., Pogorasov V.V.</b> The double criterion optimisation of the designers constants of the CNC gear-cutting generator for the bevel gears .....	169
<b>Jakovleva A.M.</b> Procedure of a choice of the processing tool for machine tools of lingering group in the automated system of planning of technological operations .....	174

#### NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES

<b>Bulkina N.V., Masumova V.V., Vulach N.A., Kropotina A.U., Polosuhina E.N., Podelinskaya V.T.</b> Characteristic features of the usage of ultrasound at complicated physico-chemical reactions in stomatology .....	177
<b>Zubarev J.M., Petrov V.M., Nikitin V.A., Letenko D.G., Fedosov A.V.</b> Decision of private tribotechnical powermachinebuilding problems due to nanostructurization technological environments .....	180
<b>Lyasnikov V.N., Nefedova A.K., Chernikova I.E., Dudareva O.A.</b> Formation of nanostructured biocomposite coatings by plasma-spraying method .....	184
<b>Lyasnikov V.N., Perinskaya I.V., Perinsky V.V., Vashurin V.O.</b> Using ion implantation of the argon for creation ultradispersion nanomodified surfaces of titanium implants in stomatology.....	187



**AUTOMATION AND MANAGEMENT**

<b>Alexandrov A.G., Stepanov M.F., Michailova L.S., Bragin T.M., Stepanov A.M.</b> The development to concepts of the automatic decision of the tasks to theories of control in system GAMMA-3 .....	190
<b>Birjukov V.P., Murin C.V.</b> The analysis and maintenance of controllability of technological process as object of management of structure and viscosity of viscose.....	196
<b>Efremova T.A.</b> Modelling of static characteristics of the electrohydraulic the converter of pulse action by the method of planning of experiment.....	200
<b>Ivleva A.S., Murin S.V.</b> Mathematical model of the deformation mode of oxidation pan filament in production of the carbon filaments .....	203
<b>Ignatyev A.A., Samoiloa E.M.</b> Product quality control perfection on the basis of monitoring system with artificial intellect elements .....	207
<b>Kaljuzhnyj A.A., Birukov V.P.</b> Automated system of research of elastic-dissipative characteristics by the method of the dynamic mechanical analysis .....	209
<b>Kapralova O.A.</b> Mathematical model of the kinetics of the oxidation PAN filament in production of the carbon filaments .....	213
<b>Klimov A.P., Sadchikova G.M., Birukov V.P.</b> Dynamic division of channels of process of manufacturing of a rubber stock .....	216
<b>Klimov A.P., Sadchikova G.M.</b> Mathematical model of technological Process of Making of rubber technical products .....	220
<b>Murin S.V.</b> Indemnification of revolting influences in the channel of operating influence .....	224
<b>Serova A.A., Ignatyev S.A.</b> The automated estimation of ds of rigs for operative correction of pr of details with use of a db .....	227

**INFORMATION TECHNOLOGIES**

<b>Baryshnikova E.S., Ivaschenko V.A.</b> The models of knowledge of emergencies by flat glass production .....	231
<b>Brovkova M.B.</b> Intellectualization of managerial decision making process on basis of information computer support for automated engineering operation .....	235
<b>Brovkova M.B., Vislobokova O.I., Nedopekin A.N.</b> Informational aspects of translation quality assessment automation .....	238
<b>Brovkova M.B., Scheglov A.A.</b> Development of automated decision making adviser for mce and rts stock exchange with use of autoregressive model with moving average .....	242
<b>Pimenov M.Y.</b> Structural description of electro-technical tools in technical diagnosing .....	245
<b>Utkin N.N.</b> The modelling of the vibroacoustic diagnosing wireless sensor network in the simulator tossim .....	247

**ECONOMICS**

<b>Andrjushchenko S.A., Syomushkina A.V.</b> Working out of strategy a sustainable development for the machine-building enterprises on the basis of cooperation.....	250
<b>Belousova N.G., Pchelintseva I.N.</b> Participation of the industrial enterprises in socially-investment programs.....	252
<b>Valgutszkova O.V.</b> Aggravation and resolution of conflicts in socially-labour relations of electric power industry in an economic crisis period .....	256
<b>Goryacheva T.V.</b> Technical regulation as the tool the industrial policy of the government .....	258
<b>Dergacheva O.A.</b> Estimate of ecological and economical mechanism of a system which provide environmental protection on enterprise .....	261
<b>Eremina E.V.</b> Some aspects of financing of innovative activity of the machine-building enterprises.....	264
<b>Zhits G.I., Zakharchenko E.S.</b> Some aspects of innovation progress machine-building industry.....	267
<b>Ignatyeva E.U.</b> Labor management in banks in crisis .....	269
<b>Kesyan K.M.</b> The development of systems approach to control of scientific and industrial complex in the industry .....	272
<b>Klimenkov A.N.</b> Effectiveness of education as a factor of influence on the economy of small town .....	276
<b>Korovin E.G.</b> An improvement quality management of the financial flows at the innovative enterprises.....	279
<b>Krasnova O.V.</b> Application of scenary modelling (planning) for the estimation and the choice of variants of investment at the machine-building enterprises.....	282
<b>Maly V.I.</b> Modern antirecessionary aspects of Russian state innovation policy .....	285
<b>Myzrova O.A.</b> Mashine-building as cluster of innovation economy .....	289

<b>Nushtaeva E.V.</b> Logistical budgeting as the management tool financial streams of the enterprise.....	292
<b>Pavlova E.A.</b> Necessity of working place's assessment of labor conditions .....	296
<b>Plotnikov A.N., Plotnikov D.A.</b> Analysis of investment flow at small business high technology enterprises of «Volga-Engineering» Tech Park .....	299
<b>Podsumkova L.A.</b> About question of labour organization in machine-building enterprises .....	302
<b>Pchelintseva I.N., Alekseeva N.V.</b> Factors of activization of investment of social sphere of the machine-building enterprise .....	306
<b>Rakhmanina I.A.</b> Logistic forming of business-process .....	310
<b>Ryzhova O.A.</b> Evolution of sustems of planning and management of activity of the enterprise and future of their introduction .....	314
<b>Sankova L.V., Esipov A.S.</b> New types of labour relations in Russia .....	316
<b>Serdukova L.O.</b> Problems capitalization of objects of intellectual property .....	319
<b>Slavnetskova L.V.</b> Formation regional innovative sistem .....	322
<b>Fedorchuk Y.M., Isaeva O.D.</b> Peopleware of innovation developing economy in machine building.....	325
<b>Fedorchuk Y.M., Takishina E.A., Odintsova T.N.</b> The problematic of professional education system within the framework of current organizational legal forms .....	329
<b>Shevchenko S.V.</b> Leasing of patents as a financing form for venture projects .....	333
<b>Yanchenko E.V.</b> Social-labour relations in THE contemporary interprise: the problems and prospects .....	336

---

#### **SOCIAL PROBLEMS OF THE PRESENT**

<b>Kryuchkov V.N.</b> The stages of creativity in high school.....	340
<b>Petrova Sh.V.</b> Reasonable formation of staff politics as the enterprises development main factor.....	343

---

#### **HUMANITIES**

<b>Lobacheva G.V., Karabut A.K.</b> Methodology of the historical knowledge: new approaches .....	346
---	-----

---

---

# МАШИНОСТРОЕНИЕ

---

---

УДК.621.833:539.3

**И.И. Артемов, В.Д. Кревчик, А.В. Рудин, Н.Е. Артемова, В.В. Келасьев****ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

*Описывается технология упрочнения поверхностного слоя металлических деталей машин – резьбовых соединений и плоских пластин (автомобильных рессор) с использованием мелкодисперсного композитного состава (МКС) в сочетании воздействия высокочастотного (ВЧ) электромагнитного поля – «скин-эффекта».*

**I.I. Artemov, V.D. Krevchik, A.V. Rudin, N.E. Artemova, V.V. Kelasyev****TECHNOLOGY, PROVIDING LONG-LIFE OF THE MACHINERY PARTS**

*Technology of the metal surface layer strengthening in machinery parts (thread contacts and plane plates of auto-springs) with usage of small-grain composite compounds under influence of high-frequency electric field – like «skin-effect», is described.*

Многочисленными исследованиями установлено, что усталостные разрушения начинают зарождаться в поверхностных слоях и тесно связаны с шероховатостью и напряженным состоянием [1]. Высокопрочные стали и сплавы, как правило, более склонны к разрушению за счет таких процессов как фреттинг- и коррозионная усталость. Важную роль в сопротивлении металлов фреттинг-усталостному разрушению играет состояние их поверхности, особенности контактирующих элементов и степень дефектности материала (концентрация дислокаций и примесные скопления).

Кинематика таких процессов, как диффузия и ползучесть, во многом определяется характером распределения, концентрацией и взаимодействием дефектов кристаллической решетки – дислокацией вакансий и межузельной примеси. Вибрационное нагружение материала может стимулировать тот или иной процесс, связанный с дефектом: диффузию примеси из облака Коттрелла [2], дислокационную ползучесть.

Предлагаемый в данной работе двухэтапный механизм развития фреттинг-усталости состоит в следующем. На первом этапе происходит «рассасывание» зон Коттрелла вследствие диффузии закрепляющей примеси в поле дислокационной деформации [3]. В результате эффективная длина дислокационного сегмента  $l_c$  будет увеличиваться за счет уменьшения точек закрепления. При некотором критическом напряжении  $\sigma_m$  (в зоне абразивного действия) возможно полное открепление дислокационных петель за некоторое время  $\tau_1$ . На втором этапе дислокация может покинуть атмосферу Коттрелла и начать дрейфовать совместно с атмосферой, опережая ее на некоторое расстояние.

На основе рассмотренного механизма предлагается технология упрочнения поверхностного слоя металлических деталей – резьбовых соединений или плоских пластин с использованием мелкодисперсного композитного состава (МКС) в сочетании воздействия высокочастотного электромагнитного поля (ВЧ) – «скин-эффекта» [4]. ВЧ-нагрев поверхности детали как перед, так и после механической обработки (например, нарезки резьбы) детали приводит к интенсивному и кратковременному (импульсному) нагреву только приповерхностного слоя детали толщиной ~ 10-100 мкм. При этом тонкий слой МКС защищает поверхность металлической детали от окисления и способствует увеличению диффузии частиц МКС в глубь поверхности детали.

Для проверки эффективности данной технологии были проведены экспериментальные исследования внешних резьбовых соединений и автомобильных рессор методом акустической эмиссии в режиме одноосной деформации – продольного растяжения и поперечного изгиба.

В качестве исследуемых образцов использованы металлические ступенчатые стержни кольцевого поперечного сечения с резьбовыми соединениями, выполненные из стали марки Ст 30. В качестве автомобильных рессор использовались корневые рессоры длиной 1000 мм, шириной 55 мм и толщиной 5 мм.

Одна партия исследуемых образцов – резьбовых соединений изготавливалась по традиционной технологии – т.е. нарезка метрической резьбы с помощью плашки в присутствии охлаждающей жидкости (СОЖ). Вторая партия образцов изготавливалась по новой технологии – нарезания метрической внешней резьбы в атмосфере МКС с последующей ВЧ-обработкой электромагнитным полем.

Испытания исследуемых образцов проводились на разрывной машине типа УММ-5, со скоростью перемещения траверсы от 0,05 мм/мин. Режим одноосной нагрузки – сила продольного растяжения или поперечного изгиба изменялась от 0 до 1,65 кН; время равномерной нагрузки на образец не превышало  $t = 10$  мин.

Для диагностики микродефектной структуры и определения зарождения микротрещин (МТ) в конструкционных материалах и деталях машин в данной работе использовался метод акустической эмиссии (АЭ) как наиболее эффективный неразрушающий метод контроля. Метод акустико-эмиссионного контроля основан на регистрации и последующей обработке параметров акустических сигналов ультразвукового диапазона, сопровождающих локальную перестройку структуры материала, зарождение и развитие микро- и макродефектов. Процесс наблюдения и регистрации сигналов АЭ исследуемых образцов в режиме упругой деформации осуществлялся с помощью акустической установки, подробно описанной в [5].

По полученным экспериментальным данным построены гистограммы и графики зависимости суммарного числа импульсов акустической эмиссии от величины приложенной силы в режиме продольного растяжения и поперечного изгиба исследуемых образцов.

Зависимость суммарного числа  $N_c = f(\sigma)$  импульсов АЭ для резьбовых образцов от величины механического напряжения  $\sigma$  в режиме одноосной деформации приведена на рис. 1. Из сравнения графических зависимостей суммарного числа счета импульсов АЭ исследованных образцов следует, что для образцов 3-ПТ и 4-ПТ, обработанных по предлагаемой технологии предельная величина  $N_c = f(\sigma)$  на горизонтальных участках кривых более чем в два раза меньше, чем для образцов 1-ТТ и 2-ТТ, обработанных по традиционной технологии.

На рис. 2 приведены сводные зависимости суммарного числа  $N_c = f(F)$  импульсов АЭ для трёх исследованных автомобильных рессор с различным пробегом в зависимости от величины приложенной силы  $F$  в режиме поперечного изгиба.

Как видно из рис. 2, зависимость суммарного числа  $N_c = f(F)$  счета импульсов АЭ, полученная в режиме поперечного изгиба, для всех исследованных образцов носит нелинейный характер. С увеличением пробега предельное значение величины суммарного счета импульсов АЭ монотонно увеличивается. Для рессоры (2) с пробегом 30 тыс. км предельная величина  $N_c$  на горизонтальных участках кривых более чем в 1,7 раза больше, чем у рессоры (1) без пробега.

На рис. 3 приведен сводный график зависимости суммарного числа  $N_c = f(F)$  импульсов АЭ для автомобильных рессор с различным покрытием от величины приложенной силы в режиме поперечного изгиба.

Из сравнения графических зависимостей суммарного числа  $N_c = f(F)$  счета импульсов АЭ исследованных образцов следует, что для рессоры с кадмиевым покрытием величина суммарного числа  $N_c = f(F)$  импульсов АЭ на горизонтальном участке почти в 3,5 раза меньше, чем у рессоры без покрытия.

Полученные экспериментальные данные и результаты расчета, приведенные в [6], позволяют рассчитать отношение эффективных длин развивающихся микротрещин трещин в исследуемых образцах по формуле

$$\frac{\ell_1}{\ell_2} = \left( \frac{N_{c1}}{N_{c2}} \right)^{\frac{1}{2}},$$

где  $N_{c1}$ ,  $N_{c2}$  – суммарное число счета импульсов АЭ на предельных горизонтальных участках для первого и второго образца, соответственно.

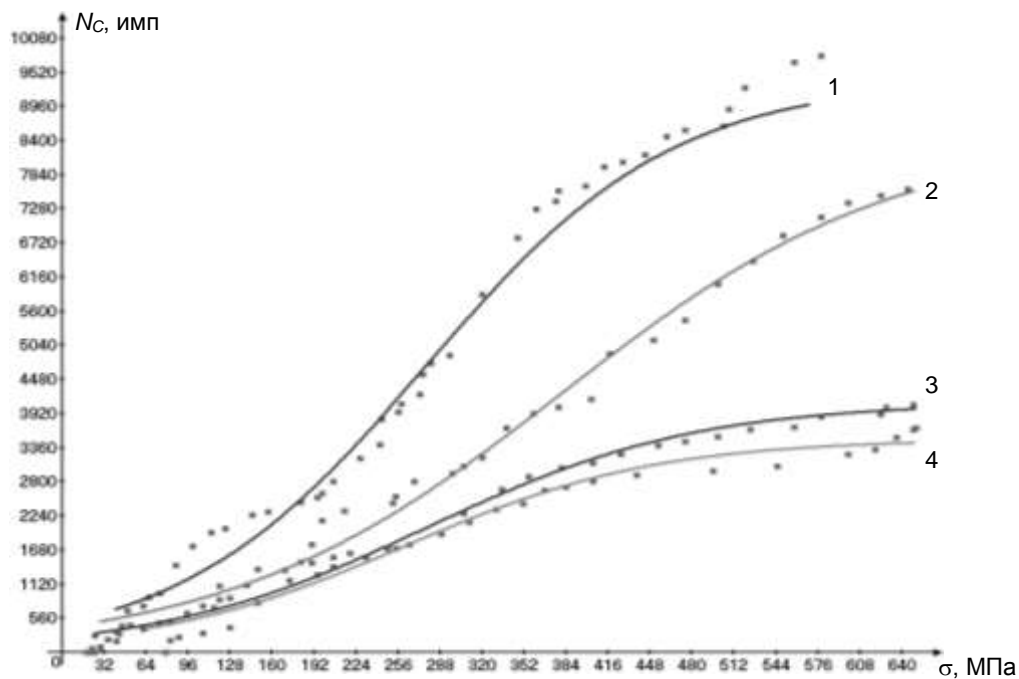


Рис. 1. Зависимость суммарного числа  $N_c = f(\sigma)$  импульсов АЭ исследованных объектов: 1 – ТТ; 2 – ТТ; 3 – ПТ; 4 – ПТ

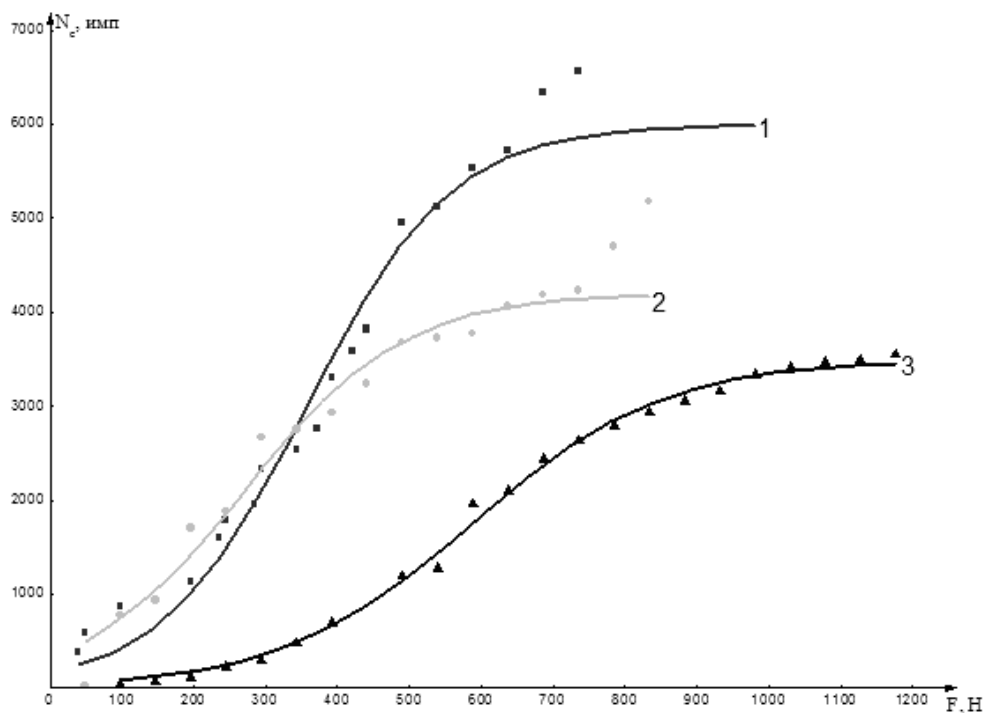


Рис. 2. Сводные зависимости суммарного числа  $N$  импульсов АЭ для трёх исследованных автомобильных рессор с различным пробегом от величины приложенной силы  $F$  в режиме поперечного изгиба: образец 1 – пробег 30 тыс. км, образец 2 – пробег 20 тыс. км, образец 3 – нулевой пробег

Отношение эффективных длин развивающихся микротрещин в резьбовых соединениях, изготовленных по традиционной и по новой технологии, составляет 1,47. Отношение эффективных длин развивающихся микротрещин для рессоры с пробегом 30 тыс.км и рессоры с нулевым пробегом со-

ставляет 1,3. Отношения эффективных длин микротрещин для рессор с различным покрытием соответственно составляют:

- рессоры с медным и кадмиевым покрытием – 1,4;
- рессоры без покрытия и с медным покрытием – 1,8;
- рессоры без покрытия и с кадмиевым покрытием – 1,9.

Таким образом? из представленного в работе теоретического и экспериментального материала следует, что предлагаемая технология упрочнения деталей машин с применением МКС в условиях ВЧ-нагрева, когда определяющую роль играет «скин-эффект», способствует закреплению дислокаций и микротрещин в поверхностном слое и тем самым приводит к упрочнению поверхностного слоя и улучшению качества поверхности изготавливаемой детали.

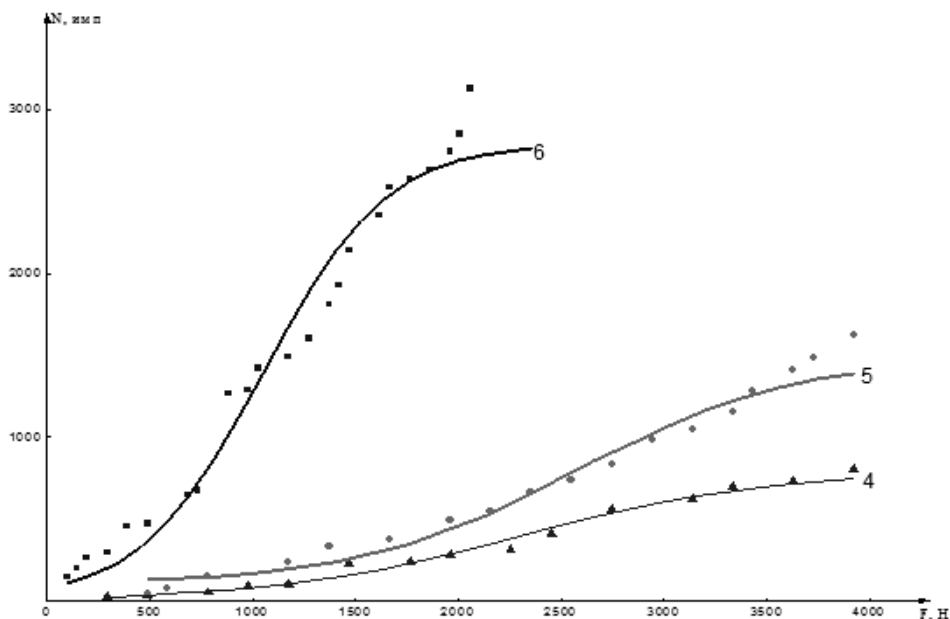


Рис. 3. Сводный график сравнения зависимости суммарного числа  $N$  импульсов АЭ для рессор с различным покрытием и рессоры без покрытия в зависимости от величины приложенной силы  $F$  в режиме поперечного изгиба: образец 4 – с кадмиевым покрытием; образец 5 – с медным покрытием, образец 6 – без покрытия

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по надежности: пер. с англ. / под ред. Р.Б. Левина. М., 1969. Т. 1. 205 с.
2. Коттрелл А. Дислокации и пластическое течение в кристаллах / А. Коттрелл. М.: Металлургиздат, 1958. 182 с.
3. Артемов И.И. Дислокационная модель фреттинг-усталости в условиях вибрационного нагружения металла / И.И. Артемов, В.Д. Кревчик // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2004. № 5. С. 42-45.
4. Артемов И.И. Технология упрочнения поверхностного слоя наружных резьб с использованием нанокompозитного состава в условиях скин-эффекта / И.И. Артемов, В.Д. Кревчик, А.В. Рудин // Нанотехнологии – производству-2007: тез. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф. 28-30 ноября 2007 г. Фрязино. М.: Янус-К, 2007. С. 46.
5. Применение метода акустической эмиссии для оценки параметров микротрещин, развивающихся в металлах в области упругой деформации / А.В. Рудин, Н.Е. Артемова, П.П. Першенков, А.С. Наумов // Надежность и качество 2008: тр. Междунар. симпозиума: в 2 т. Пенза: Инф.-издат. центр ПГУ, 2008. Т. 2. С. 16-19.
6. Куксенко В.С. Оценка размеров растущих трещин и областей разгрузки по параметрам акустических сигналов / В.С. Куксенко, С.А. Станчиц, Н.Г. Томилин // Механика композитных материалов. 1983. № 3. С. 536-543.

**Артемов Игорь Иосифович** –

доктор технических наук, профессор, декан факультета машиностроения, транспорта и энергетики Пензенского государственного университета

**Кревчик Владимир Дмитриевич** –

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика» Пензенского государственного университета

**Рудин Александр Васильевич** –

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика» Пензенского государственного университета

**Артемова Наталья Евгеньевна** –

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Начертательная геометрия и инженерная графика» Пензенского государственного университета

**Келасьев Василий Владимирович** –

ассистент кафедры «Транспортные машины» Пензенского государственного университета

УДК 621.784.4

**Я.И. Барац, И.Е. Будейкина**

### **ИСТОЧНИК ТЕПЛОТЫ ПРИ АЛМАЗНОМ ВЫГЛАЖИВАНИИ СФЕРИЧЕСКИМ ИНДЕНТОРОМ**

*На основании гипотезы Зорева Н.Н. об упругопластическом контакте в области силового взаимодействия двух движущихся тел получена аналитическая формула, которая позволяет рассчитать тангенциальную составляющую силы, возникающую при движении индентора. Приводится формула для определения общей тепловой мощности процесса алмазного выглаживания.*

**Ia.I. Baratz, I.E. Budeykina**

### **SOURCE OF HEAT IN DIAMOND BURNISHING BY SPHERICAL INDENTER**

*The analytical formula, which allows calculate the tangential forcet arised when moving indenter, was got on the basis of hypothesis of Zorev N.N. about the elastic-plastic contact in the field of power interaction between two moving bodies. A formula for determining the total thermal power of diamonds burnishing is adduced.*

При обработке изделий алмазным выглаживанием в результате силового взаимодействия обрабатываемой детали с индентором возникают контактная поверхность и очаг пластической деформации с интенсивным выделением тепла. Общая тепловая мощность для такого процесса может определяться из соотношения

$$Q = P_V V, \quad (1)$$

где  $P_V$ , кгс – составляющая усилия  $P$  в направлении скорости главного движения (тангенциальная составляющая);  $V$ , м/с – скорость главного движения при выглаживании [1].

Для определения тангенциальной составляющей силы  $P_V$  воспользуемся методикой Н.Н. Зорева для расчета силы трения на передней поверхности режущего инструмента [2]. Касательные напряжения

$\tau(r)$  на передней поверхности резца согласно этой методике не могут быть больше, чем предел прочности материала на сдвиг  $\tau_s$ :

$$\tau(r) \leq \tau_s. \quad (2)$$

Известно, что близкое к эллиптическому пятно контакта при взаимодействии детали и индентора можно представить равновеликим кругом с радиусом  $R$ , а распределение напряжений описать законом Герца для случая упругого взаимодействия сферы с полупространством [3]:

$$\sigma(r) = \sigma_0 \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2}}, \quad (3)$$

где  $\sigma_0$ , Па – максимальное значение нормальных напряжений;  $R$ , мм – радиус площадки контакта.

Однако формула (3) получена Герцем для идеальной поверхности контактируемых тел. При взаимодействии же индентора с реальной шероховатой поверхностью происходит большее сосредоточение напряжений в центральной части контакта, в связи с чем распределение нагрузки на поверхности контакта ближе к параболическому закону:

$$\sigma(r) = \sigma_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right). \quad (4)$$

При таком законе распределения напряжений удельные касательные напряжения (удельная сила трения), возникающие при перемещении индентора относительно обрабатываемой поверхности, определяются из соотношения:

$$\tau(r) = \mu \sigma(r), \quad (5)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения,  $\mu = 0,05 \dots 0,06$ .

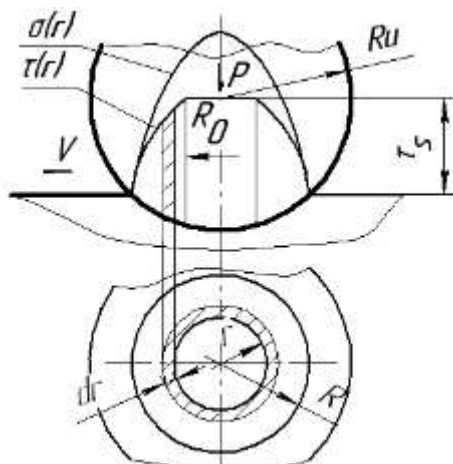


Схема для расчета тангенциальной составляющей силы  $P_v$

Однако учитывая неравенство (2), с увеличением нормальных напряжений  $\sigma(r)$  касательные напряжения  $\tau(r)$ , по Н.Н. Зореву, не могут увеличиваться беспредельно. В этом случае внешнее трение заменяется на сдвиговые деформации в центре площадки контакта с радиусом  $R_0$  (рисунок).

Как видно из рисунка, сила трения  $F$  складывается из силы трения  $F_1$ , возникающей на площадке контакта радиусом  $R_0$ , и силы трения  $F_2$ , возникающей на площадке контакта, где  $R_0 \leq r \leq R$ , то есть

$$F = F_1 + F_2. \quad (6)$$

Сила трения на контактной поверхности с  $0 \leq r \leq R_0$ , учитывая что  $\tau = \tau_s$ , будет равна:

$$F_1 = \tau_s \pi R_0^2. \quad (7)$$

Рассмотрим элементарный участок  $dr$ , сила трения на нем определится выражением

$$dF_2 = 2\pi r \cdot dr \cdot \tau(r). \quad (8)$$

Для нахождения силы  $F_2$  проинтегрируем выражение (8) в пределах от  $r = R_0$  до  $r = R$ :

$$F_2 = \int_{R_0}^R 2\pi r \cdot dr \cdot \tau(r). \quad (9)$$

Учитывая, что  $\tau(r) = \mu \sigma(r)$  и  $\sigma(r) = \sigma_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$ , выражение (9) примет вид

$$F_2 = \int_{R_0}^R 2\pi r \cdot dr \cdot \mu \sigma_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right). \quad (10)$$

Значение  $\sigma_0$  можно определить из соотношения (2) для случая, когда  $r = R_0$ :



$$\tau(r = R_0) = \mu \sigma_0 \left( 1 - \frac{R_0^2}{R^2} \right) = \tau_s, \quad (11)$$

$$\sigma_0 = \frac{\tau_s}{\mu(1 - \varepsilon^2)}, \quad \text{где } \varepsilon = R_0 / R. \quad (12)$$

Окончательно выражение (9) примет вид

$$F_2 = \int_{R_0}^R \frac{2\pi\tau_s}{1 - \varepsilon^2} r \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) dr. \quad (13)$$

После вычисления интеграла и преобразования параметров получим

$$F_2 = \frac{\pi\tau_s}{2} (R^2 - R_0^2). \quad (14)$$

Общая сила трения на площадке контакта:

$$F = F_1 + F_2 = \tau_s \pi R_0^2 + \frac{\pi\tau_s}{2} (R^2 - R_0^2). \quad (15)$$

Учитывая, что  $F = P_V$ , можно записать:

$$P_V = \frac{\tau_s \pi R^2}{2} (1 + \varepsilon^2), \quad \varepsilon = R_0 / R, \quad \varepsilon = 0,45 \dots 0,55. \quad (16)$$

Подставив выражение (16) в равенство (1), получим

$$Q = \frac{\tau_s \pi R^2}{2} (1 + \varepsilon^2) v. \quad (17)$$

Выражение (17) определяет тепловую мощность процесса алмазного выглаживания сферическим индентором. Величину площадки контакта радиусом  $R$ , входящую в эту формулу, можно определить с помощью контактной задачи Герца для упругого взаимодействия двух сферических тел:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3Pr_u}{4} \left( \frac{1 - \sigma_1^2}{E_1} + \frac{1 - \sigma_2^2}{E_2} \right)}, \quad (18)$$

где  $P$ , кгс – радиальная сила при обработке;  $r_u$ , мм – радиус индентора;  $E_1, E_2$ , Па – модули упругости соответственно материала инструмента и материала обрабатываемой детали;  $\sigma_1, \sigma_2$  – коэффициенты Пуассона соответственно материалов инструмента и детали.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Барац Я.И. Финишная обработка металлов давлением / Я.И. Барац. Саратов: СПИ, 1982. 182 с.
2. Зорев Н.Н. О взаимозависимости процессов в зоне стружкообразования и в зоне контакта передней поверхности инструмента в зоне контакта тел произвольной кривизны / Н.Н. Зорев // Вестник машиностроения. 1963. № 12. 152 с.
3. Johnson K.L. Contact mechanics / K.L. Johnson. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 460 p.

#### **Барац Яков Ильич** –

доктор технических наук, профессор кафедры  
«Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

#### **Будейкина Ирина Евгеньевна** –

аспирант кафедры «Материаловедение»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

Я.И. Барац, М.А. Епифанов

## ПРИМЕНЕНИЕ ЗУБОРЕЗНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ С КРУГЛЫМИ РЕЗЦАМИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОНИЧЕСКИХ И ГИПОИДНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

*Рассматриваются современные способы нарезания конических зубчатых колес с круговыми зубьями, предлагаются оригинальный способ и инструменты для его реализации.*

Ia.I. Baratz, M.A. Epifanov

## APPLICATION OF GEAR-CUTTING TOOLS WITH ROUND CUTTERS FOR MACHINING OF CONIC AND HYPOID GEARINGS

*The modern ways of cutting of conic gears with circular teeth are considered in the article, the original way and tools for its realisation are offered.*

Конические зубчатые колеса широко применяются в машиностроении, и в настоящее время существует множество систем производства конических колес. Имеется целый ряд разработок и конструкций зуборезных станков и инструментов для нарезания конических колес с круговыми зубьями.

**Способ нарезания конических колес с круговыми зубьями.** Существуют две основных схемы передач для конических колес с круговыми зубьями: обкатные и полуобкатные передачи.

Обкатные гипоидные и конические передачи с криволинейными зубьями, включая передачи с нулевым углом наклона зубьев, нарезают путем воспроизведения станочного зацепления зубьев плоского воображаемого производящего колеса с зубьями обрабатываемого колеса при их взаимной обкатке (рис. 1 а). При этом режущие кромки резцов зуборезной головки (ЗГ) воспроизводят зубья воображаемого производящего колеса. Вращение заготовки согласованно с вращением люльки станка, на которой установлена ЗГ. При совместном обкатывании ЗГ и заготовки вращающиеся резцы формируют продольную кривизну и профиль зуба.

При нарезании зубьев полуобкатных передач шестерня и колесо не имеют общего производящего колеса. Для нарезания шестерни плоское производящее колесо заменяется конусным (рис. 1 б). Его форма теоретически точно соответствует форме сопряженного колеса, имеющего реечный профиль зубьев.

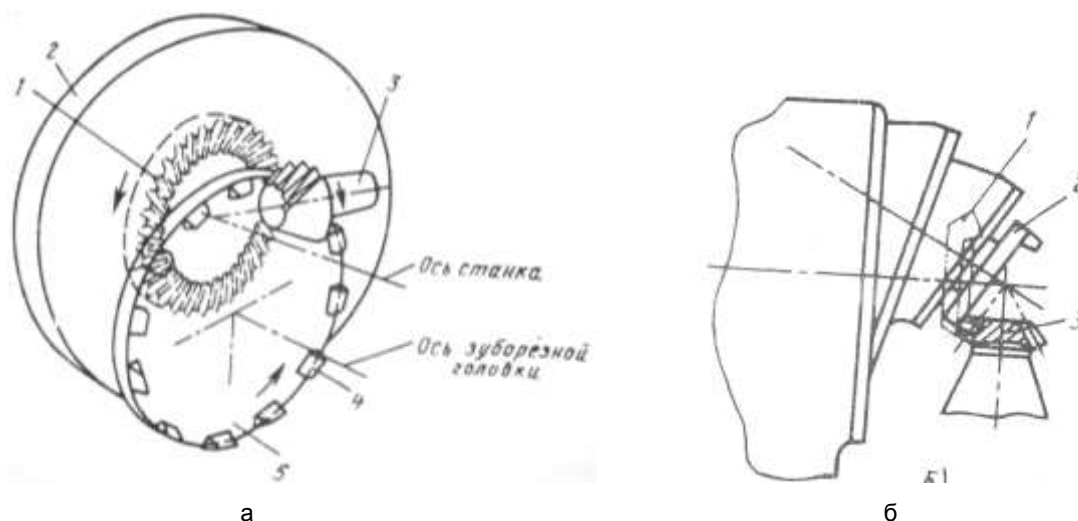


Рис. 1. Схемы нарезания зубьев обкатных (а) и полуобкатных (б) передач

Наиболее часто применяют следующие технологические способы чистового нарезания зубьев [1].

**Двусторонний способ.** При этом способе двусторонней ЗГ одновременно с одной установки обрабатываются обе стороны зуба – как выпуклая, так и вогнутая. Этот способ универсален и широко применяется в массовом и серийном производстве для достижения 6-8-й степени точности.

**Односторонний способ.** При этом способе чистовое нарезание каждой стороны впадины зуба производится отдельно с различными наладочными установками станка. Различные наладки вызваны особенностями изменения ширины впадины зуба, а также неодинаковым влиянием на выпуклую и вогнутую стороны зубьев применяемых при чистовой обработке способов корректирования процесса нарезания, необходимых для получения в нарезанной конической паре надлежащих условий контакта. Чистовое нарезание каждой стороны впадины зубьев, предварительно прорезанных начерно, производится различными односторонними головками по различным наладкам станка. Этот вариант применяется в случаях, когда при чистовом нарезании имеющейся двусторонней головкой нельзя получить достаточную длину пятна контакта и обеспечить другие показатели качества контакта.

**Двойной двусторонний способ.** Он характеризуется тем, что обе стороны зубьев колеса и шестерни обрабатывают одновременно за одну операцию из целой заготовки. Ширина дна впадины зубьев шестерни и колеса постоянна по длине зуба. Для колеса и шестерни требуются только две ЗГ: одна для нарезания зубьев шестерни, другая – колеса. Достоинствами этого способа являются его высокая производительность, стабильность размеров впадины и плавность радиуса закругления в месте сопряжения ножки зуба с дном впадины. Но при этом не обеспечивается высокое качество пятна контакта, как при одностороннем способе.

**Предлагаемый способ нарезания конических зубчатых колес с круговыми зубьями и инструмент для его реализации.** Предлагаемым изобретением решается задача повышения точности обработки конических зубчатых колес с круговыми зубьями и повышения качества пятна контакта.

Для реализации двойного двустороннего способа нарезания конических колес с круговыми зубьями предлагается в зубчатом колесе обрабатывать впадину, а в нарезаемой шестерне формировать профиль зуба двурядной ЗГ с круглыми резцами (рис. 2).

Сущность изобретения состоит в том, что в двойном двустороннем способе чистовой обработки конических передач с круговыми зубьями, включающем формирование зубьев двумя двусторонними зуборезными головками с одинаковыми номинальными диаметрами, для формирования зубьев колеса используют двустороннюю зуборезную головку с внешним расположением режущих кромок, с помощью которой осуществляют фрезерование профиля впадины между зубьями колеса, а профиль зубьев шестерни формируют путем фрезерования боковых сторон одного и того же зуба двусторонней зуборезной головкой с внутренним расположением режущих кромок. При этом изменение ширины впадины между зубьями колеса будет полностью соответствовать изменению толщины зуба шестерни, поскольку радиусы кривизны выпуклой стороны зубьев колеса будут соответствовать радиусам кривизны вогнутой стороны зубьев шестерни, а радиусы кривизны вогнутой стороны зубьев колеса будут соответствовать радиусу кривизны выпуклой стороны зубьев шестерни.

Предлагается, таким образом, новая конструкция зуборезной головки и схема нарезания колес обкатных передач (рис. 2). При этом способе нарезание зубчатого колеса 4 производится стандартной двусторонней зуборезной головкой с круглыми резцами 2 с

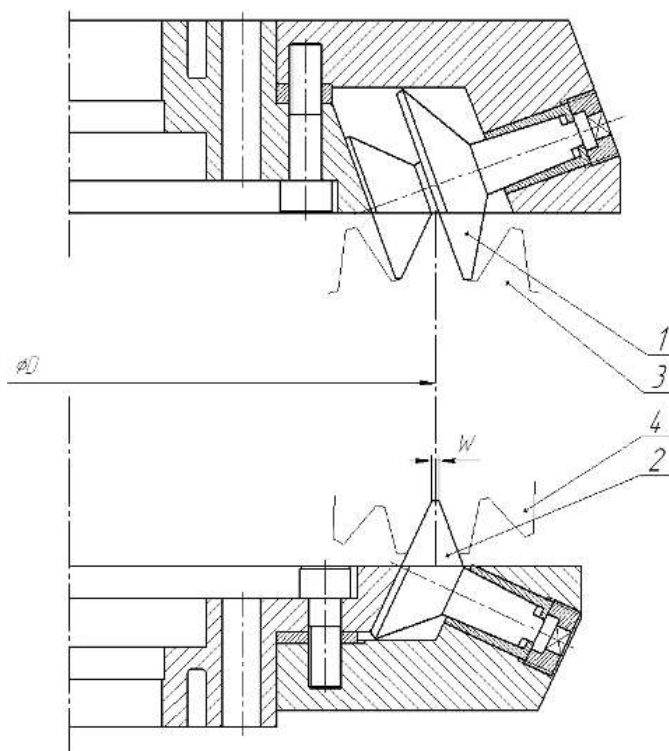


Рис. 2. Предлагаемая конструкция зуборезной головки и схема нарезания колес обкатных передач

разводом, равным ширине впадины зубьев, а нарезание шестерни 3 – зуборезной головкой с двурядными резцами. При этом геометрические параметры нарезаемого зуба полностью соответствуют параметрам впадины, нарезаемой двусторонней головкой. При этом компенсируются погрешности поверхностей резания при использовании круглых резцов с углом  $\lambda$ , обеспечивается постоянство размеров впадины и зубьев и высокое качество пятна контакта зубчатой пары.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кедринский В.Н. Станки для обработки конических зубчатых колес / В.Н. Кедринский, К.М. Писманик. М.: Машиностроение, 1967. С. 280-283.
2. Тайц Б.А. Производство зубчатых колес: справочник / С.Н. Калашников, А.С. Калашников, Г.И. Коган и др.; под общ. ред. Б.А. Тайца. 3-е изд., перераб. и дополн. М.: Машиностроение, 1990. С. 260-265.

#### **Барац Яков Ильич –**

доктор технических наук, профессор кафедры  
«Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

#### **Епифанов Михаил Алексеевич –**

аспирант кафедры «Материаловедение»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.787.4

**Я.И. Барац, Л.Р. Милованова**

### **ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ**

*Обоснован принцип пространственно-временного соответствия фундаментального решения уравнения теплопроводности для осесимметричной задачи, в соответствии с которым переход от решения с кольцевым источником теплоты в отверстии к решению для объемного кольцевого источника с нормальным распределением интенсивности тепловыделения может быть осуществлен непосредственно путем введения в соответствующее решение соотношения параметров объемного источника с размерностью времени.*

**Y.I. Baratz, L.R. Milovanova**

### **THE THERMOPHYSICAL BASIS OF SIZE EXACTNESS AND GEOMETRICAL FORM AT TREATMENT OF HOLES**

*The space-temporal correspondence principle for plane problem is controlled. From principle follows that transition from solution for axisymmetrical heat sources at the unbound body to the solution for volume circular heat sources makes of addition of volume heat sources parameters with dimensions of a time in corresponding relation.*

**Введение.** При интенсивных режимах механической обработки в поверхностных слоях обрабатываемого материала возникает большой температурный градиент. Образующееся при обработке тепло производит мгновенный и неравномерный нагрев очага деформации. Это вызывает неравномерные объемные изменения и появление внутренних термических напряжений. Так как ниже лежащие слои препятствуют расширению верхнего нагретого слоя, в нем возникают термические сжимающие напряжения. Однако повышение температуры в зоне обработки способствует повышению растягивающих остаточных напряжений и снижению сжимающих. В работах Д.Д. Папшева [1] и А.Н. Резникова [2] предлагается температуру, при которой начинаются термопластические деформации, рассчитывать по формуле

$$\theta_0 \geq \frac{\sigma_m}{E\alpha},$$

где  $\sigma_m$  – предел текучести упрочненного материала;  $E$  – модуль упругости;  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения.

Регулирование остаточных напряжений за счет управления механизмом их формирования значительно расширяет возможности технологического обеспечения необходимых эксплуатационных свойств деталей машин.

При обработке отверстий различными методами механической обработки возникает осесимметричная теплофизическая задача, связанная с расчетом температурного поля в обрабатываемой детали от действия источника теплоты в форме кольца с равномерным распределением интенсивности тепловыделения в следующей постановке. Тело с отверстием радиуса  $r_0$ , обрабатываемое с окружной скоростью  $V$  и с силой в направлении окружной скорости  $P_V$ , будет нагреваться местным источником теплоты мощностью  $Q_0 = P_V V$ , перемещающимся вместе с инструментом со скоростью подачи  $S$ . В данном случае теплофизическая задача сводится к расчету температурного поля в детали, нагреваемой местным движущимся источником, перемещающимся вместе с очагом деформации по винтовой линии на поверхности отверстия.

Если задать распределение удельной тепловой мощности источника в виде функции

$$q(r', \vartheta', z') = q_0 \exp \left[ -k \frac{(r_0 - r')^2 + (\vartheta')^2 + (z')^2}{R^2} \right],$$

где  $k$  – коэффициент сосредоточенности тепловыделения;  $R$  – характерный размер контактной поверхности местного источника, то задача в такой постановке допускает важное и практически полезное допущение. В соответствии с принципом местного влияния [3] допустимо рассматривать температурное поле в детали как сумму двух полей: общего поля вдали от источника и местного поля непосредственно в пространстве источника. При этом, определяя общее поле, можно всемерно схематизировать источник теплоты, учитывая в то же время более точно условия теплоотвода. При расчете же местного поля условия теплоотвода могут быть схематизированы, в то время как распределения интенсивности местного источника должны быть наиболее полно учтены.

**Исследование местного поля.** При расчете местного температурного поля в детали, можно допустить следующую схематизацию. Обрабатываемую деталь условно представить неограниченным телом с цилиндрическим отверстием радиуса  $r_0$ , на поверхности которого действует мгновенный кольцевой источник с распределением интенсивности в направлении радиуса  $r$  и координаты  $z$  по нормальному закону Гаусса [4]:

$$q(r', z') = q_0 \exp \left[ -k \frac{(r_0 - r')^2 + (z')^2}{R^2} \right]. \quad (1)$$

Интенсивность тепловыделения в центре такого источника определяется выражением

$$q_0 = \frac{k P_V V \tau}{\pi^2 r_0 R^2}.$$

Известно, что для расчета температурного поля в неограниченном теле с мгновенным источником мощностью  $q$  Дж/м в виде окружности радиусом  $r'$ , действующего в плоскости  $z' = 0$  в момент времени  $t = 0$ , используется соотношение [2]:

$$\theta(r, z, t) = \frac{Q}{8c\rho(\pi at)^{3/2}} \exp \left[ -\frac{r^2 + (r')^2 + (z - z')^2}{4at} \right] I_0 \left( \frac{r r'}{2at} \right), \quad (2)$$

где  $Q = 2\pi r' q$ ;  $I_0\left(\frac{r r'}{2at}\right)$  – функция Бесселя нулевого порядка от мнимого аргумента;  $c\rho$  – объемная теплоемкость;  $a$  – коэффициент температуропроводности.

После преобразований для кольцевого источника в положении  $r' = r_0, z' = 0$  получим выражение

$$\theta(r, z, t) = \frac{Q}{8t\lambda\pi^2\sqrt{r r_0}} \exp\left[-\frac{(r-r_0)^2 + z^2}{4at}\right]. \quad (3)$$

Согласно принципу пространственно-временного соответствия [4], чтобы перейти от решения, описывающего температурное поле в неограниченном теле с мгновенным кольцевым источником (2), к соответствующему решению с объемным нормально-тороидальным источником (1), достаточно в соотношении (2) к временной координате  $t$  добавить «постоянную времени»:

$$t_0 = R^2/4ak.$$

Тогда выражение, описывающее тепловой режим в неограниченном теле с отверстием радиуса  $r_0$  с нормально-тороидальным источником, будет иметь вид

$$\theta(r, z, t) = \frac{Q}{8\lambda\pi^2\sqrt{r r_0}\left(t + \frac{R^2}{4ak}\right)} \exp\left[-\frac{(r-r_0)^2 + z^2}{4a\left(t + \frac{R^2}{4ak}\right)}\right]. \quad (4)$$

**Аккумуляция теплоты в теле при обработке отверстий.** Если местное поле учитывает процесс нагрева детали за промежуток времени, соответствующий одному обороту источника, то общее поле должно учитывать накопление теплоты за все время обработки и вызванный этим дополнительный нагрев.

В соответствии с принципом местного влияния [3] допустимо принять, что каждый отдельно взятый виток источника, предшествующий последнему, определяющему местное поле, – это мгновенный тепловой импульс, предельно сосредоточенный по направлениям радиуса и образующей. Основываясь на этом, можно представить процесс аккумуляции теплоты в теле следующей схемой.

Предположим, что теплоисточник  $J_0$ , определяющий местное поле в области около диаметрального сечения  $z = 0$ , возникает в момент времени  $t = 0$ . Следовательно, предыдущий виток источника при угловой скорости  $\omega$  и величине подачи  $S$  за один виток источника ( $J_1$ ) завершился раньше в момент времени  $t_1 = 2\pi/\omega$  на расстоянии  $z_1 = S$  от источника  $J_0$ .

Еще раньше в момент времени  $t_2 = 2t_1$  и на расстоянии  $z_2 = 2z_1$  действовал кольцевой источник  $J_2$ , и так далее вплоть до первого мгновенного кольцевого импульса  $J_m$ , возникшего в момент времени  $t_m = 2\pi m/\omega$  в положении  $z_m = mS$ , в соответствии с принятой схемой, накопление теплоты в детали может быть представлено как повышение температуры местного поля каждым мгновенно-кольцевым источником, то есть

$$\theta_0 = \sum_{i=1}^m \theta_i(J_i).$$

Поскольку повышение температуры местного поля от каждого источника определяется за достаточно короткий промежуток времени, для расчета температуры общего поля можно использовать соотношение (3), положив  $r = r_0, t_i = 2\pi m/\omega$  и  $z_i = mS$ ; получим выражение

$$\theta_0 = \frac{Q}{16\pi^3\lambda r_0} \sum_{i=1}^m \frac{1}{m_i} \exp\left[-\frac{\omega S^2}{8\pi a} \cdot m_i\right]. \quad (5)$$

Влияние стока теплоты, который учитывается при изображении процесса в неограниченном теле [4], можно также учесть с использованием соотношения (2). В этом случае следует в этом соотношении положить  $r' = 0, r = r_0, z = z_i, t = t_i, I_0(0) = 1$ . В результате получим, что снижение температуры местного поля за  $m$  витков источника теплоты определяется соотношением

$$\theta_C = \frac{-Q_C}{8c\rho(\pi a)^{3/2}} \sum_{i=1}^m \frac{1}{t_i^{3/2}} \exp\left[-\frac{r_0^2 + z_i^2}{4at_i}\right],$$

преобразовав которое ( $t_i = 2\pi m/\omega, z_i = mS$ ), получим выражение

$$\theta_c = \frac{-Q_c}{8c\rho(\pi a)^{3/2}} \sum_{i=1}^m \left( \frac{\omega}{2\pi m_i} \right)^{3/2} \exp \left[ -\omega \frac{r_0^2 + (S m_i)^2}{8\pi a m_i} \right]. \quad (6)$$

Таким образом, в соответствии с приемами изображения для тела ограниченного изнутри отверстием местное поле в области действия нормально-тороидального источника рассчитывается по формуле (4); повышение температуры местного поля за счет аккумуляции теплоты определяется соотношением для общего температурного поля (5) и снижение температуры местного поля, вызванное стоком теплоты для каждого из  $m_i$  кольцевых источников рассчитывается по формуле (6).

Расчеты аккумуляции теплоты и соответствующего повышения температуры местного поля в соотношении показывают, что на некоторое повышение температуры местного поля оказывают влияние не более 5-6 витков источника, влияние сосредоточенного стока теплоты происходит, когда  $r_0 < 2,5$  мм.

### Выводы

1. Обоснован метод изображения осесимметричного температурного поля в теле, ограниченном изнутри цилиндрическим отверстием как адекватный ему тепловой режим в неограниченном теле с использованием фиктивных (отраженных) источников теплоты.

2. Показано, что тепловой режим в теле с отверстием, возникший в процессе механической обработки, может быть условно расщеплен на местное и общее температурные поля, при этом местное поле определяет температуру непосредственно в области действия местного источника, а общее температурное поле определяет повышение тепловой напряженности местного поля за счет аккумуляции теплоты в обрабатываемой детали.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Папшев Д.Д. Технологические основы повышения надежности и долговечности деталей машин поверхностным упрочнением / Д.Д. Папшев. Самара: СГТУ, 1993. 72 с.
2. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников. М.: Машиностроение, 1990. 288 с.
3. Рыкалин Н.Н. Теория нагрева металла местными источниками теплоты / Н.Н. Рыкалин // Тепловые явления при обработке металлов резанием: сб. науч. тр. М.: НТО Машпром, 1959. С. 14-45.
4. Барац Я.И. Математические модели технологической теплофизики и физических процессов / Я.И. Барац, И.А. Маслякова, Ф.Я. Барац. Саратов: СГТУ, 2002. 89 с.

### Барац Яков Ильич –

доктор технических наук, профессор кафедры  
«Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

### Милованова Людмила Руслановна –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.9.048.7

**Н.В. Бекренёв, Н.В. Протасова, А.П. Петровский**

## **ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УСТАНОВЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИИ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА И ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ИХ СТРУКТУРЫ**

*Получены зависимости, позволяющие определить минимальную амплитуду ультразвука при разрушении элементов структуры кристаллических материалов и*

*кинетику разрушения. Качественно обоснована возможность повышения эффективности и качества ультразвуковой обработки в условиях структурного резонанса, что позволит повысить точность изделий машино- и приборостроения.*

**N.V. Bekrenev, N.V. Protasova, A.P. Petrovsky**

**SUBSTANTIATION METHOD OF INCREASE EFFICIENCY  
OF THE ULTRASONIC PROCESSING CONSTRUCTIONAL MATERIALS  
ON THE BASIS OF THE ESTABLISHMENT  
OF CORRELATION PEAK-FREQUENCY PARAMETERS OF PROCESS  
AND FRACTIONING DIMENSIONS OF THEIR STRUCTURE**

*The dependences are received, allowing to define the minimal amplitude of ultrasound at destruction of elements of structure of crystal materials and кинетику destructions. The opportunity of increase of efficiency and quality of ultrasonic processing in conditions of a structural resonance that will allow to raise accuracy of products machine- and instrument making is qualitatively proved.*

Ультразвуковая размерная обработка хрупких материалов является наряду с очисткой наиболее распространенным и изученным процессом применения ультразвука в технологии. При этом она используется для формирования малогабаритных полостей и пазов сложного профиля, которые невозможно или трудно получить другими методами.

Начиная с конца 60-х годов XX века механизм ультразвуковой обработки объясняется ударным воздействием инструмента по частицам абразива, передающим эту энергию материалу (теория размерной ультразвуковой обработки изложена в трудах А.И. Маркова, Л.Д. Розенберга, В.Ф. Казанцева) [1]. Колеблющийся инструмент играет роль молота, периодически ударяющего по зернам, выкалывающим небольшие частицы материала. Сколы происходят сначала под наиболее крупными зернами в результате образования множества микротрещин, которые в ходе повторных ударов ветвятся, пересекаются и отделяют частицы материала, уносящиеся технологической жидкостью. Длина трещин достигает от одного до трех размеров абразивного зерна. При обработке кристаллических материалов трещины возникают, как правило, по межзерненным границам, как менее прочным. Это приводит к отделению непредсказуемых частей материала: отдельных зерен, блоков, конгломератов, что существенно затрудняет получение поверхностей прецизионных деталей с жесткими требованиями к качеству поверхности, например газодинамических опор. Задача особенно осложняется при обработке газотермических (плазмонапыленных) покрытий, характеризующихся высокой неоднородностью структуры. Применение пониженных амплитуд ультразвука с целью повышения качества поверхности за счет уменьшения протяженности трещин резко снижает производительность или вовсе делает невозможным процесс отделения частиц материала.

Нам представляется, что повысить качество и, одновременно, эффективность ультразвуковой обработки возможно при условии воздействия на материал изделия таких колебаний инструмента, что, по крайней мере, одна их частотная гармоника является резонансной для элементов кристаллической структуры. В этом случае при минимальных амплитудах смещения возможно проявление явления резонанса в зернах структуры, что приведет к их разрушению за счет местного возрастания амплитуд колебаний и превышения порога усталостной прочности. При этом вследствие малости внешних воздействий макроструктура материала останется неповрежденной. Резонансная частота для элементов структуры вследствие их малости, очевидно, будет высокой (порядка десятков и сотен мегагерц), что выходит далеко за пределы промышленного диапазона частот. К тому же КПД высококачественных колебательных систем весьма мал. Поэтому реальная частота воздействия  $f_{вн}$  должна быть смещена в низкую область, но содержать высокие резонансные гармоники  $f_{рез}$ . С учетом сказанного частота внешнего воздействия должна выбираться из условия

$$f_{вн} = f_{рез} n, \quad (1)$$

где  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

Определим минимальную амплитуду ультразвукового воздействия, при которой возможно разрушение элементов структуры. Качественная модель разрушения зерна под действием ультразвуковых колебаний внешнего тела может быть представлена следующей схемой (рис. 1). При этом зер-



но для упрощения модели и расчетов представлено в виде правильного многогранника (например, октаэдра), внешнее тело и нижележащие слои считаются абсолютно жесткими, первый контакт с зерном принят в одной из его вершин.

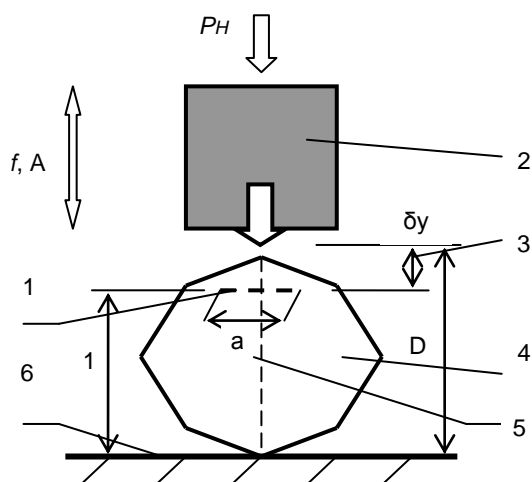


Рис. 1. Схема воздействия колеблющегося тела на зерно при его разрушении

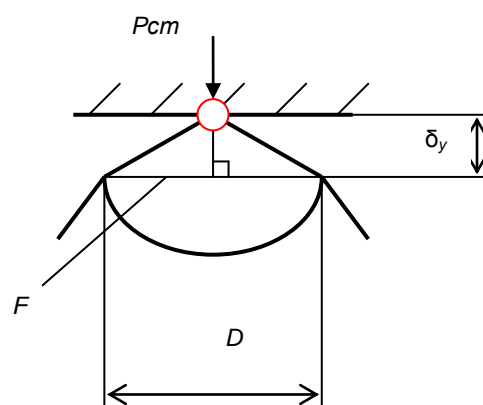


Рис. 2. Схема, показывающая пятно деформации при взаимодействии внешнего тела с зерном

На рис. 1, 2 обозначено: 1 – контактная площадка упруго деформированного зерна; 2 – внешнее тело (абразив); 3 – упругая деформация зерна под действием нормальной статической силы  $P_H$ ; 4 – исходное зерно; 5 – трещина в зерне, делящая его на части; 6 – контртело (ниже лежащие слои зерен);  $f$  и  $A$  – частота и амплитуда колебаний;  $a$  – величина площадки контакта;  $D$  – размер исходного зерна;  $l$  – величина трещины;  $\delta_y$  – величина упругой деформации;  $P_H$  и  $P_D$  – нормальная статическая и динамическая силы воздействия

На зерно будет действовать периодическая сила, величина которой определяется амплитудой колебаний и силой прижатия внешнего тела.

Вследствие воздействия этих сил зерно будет подвергаться циклическому сжимающему действию. Когда число циклов нагружения превысит допустимое по условиям прочности, произойдет разрушение.

Определим величину напряжений, необходимую для первичного раскалывания агломерата [2]:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{E\gamma}{\pi l}}, \quad (2)$$

где  $\gamma = 54,9 \cdot 10^{-2} H_\mu^{1,054}$ , поверхностная энергия зерна;  $H_\mu$  – микротвердость.

Согласно работам А.И. Маркова [2] динамическая сила, вызванная ультразвуковым воздействием на твердое тело, определяется по зависимостям:

$$P_\delta = CA^{0,56} \quad P_\delta = CP_{ст}^{0,34} \quad P_\delta = 4P_{ст}. \quad (3)$$

С учетом выражений (2), (3) можно после некоторых преобразований получить зависимость, связывающую амплитуду колебаний со свойствами обрабатываемого материала и размерами зерна его структуры (через длину трещины):

$$4P_{ст}^{0,66} \cdot A^{0,56} / F = \sqrt{\frac{E\gamma}{\pi e}}. \quad (4)$$

Расчеты по (4) показывают, что при размерах зерен порядка 30-40 мкм для цветных металлов и незакаленных сталей величина амплитуды воздействия составляет 5 мкм, для керамических материалов 7 мкм, при размерах зерен 4-5 мкм для закаленных до твердости 40-45 HRC<sub>3</sub> сталей 5 мкм и для керамических материалов 7 мкм. Видно, что во всех случаях эффективная размерная обработка материалов по существующей схеме невозможна и необходимо возбуждение структурного резонанса.

С учетом зависимостей усталостной прочности [3] в условиях высокочастотного циклического нагружения получено выражение, определяющее время разрушения элемента кристаллической структуры материала:

$$T = \frac{N_B (4P_H^{0,66} A^{0,56})^m}{0,5 f \sigma_3^m}, \quad (5)$$

где  $N_B = 10 \cdot 10^6$  – базовое число циклов нагружения;  $\sigma_3$  – эквивалентные напряжения, зависящие от нормальных и касательных напряжений, а также размеров объекта нагружения.

Определенное расчетом по (5) время разрушения зерна составляет от 20 до 30 секунд при его размерах 0,2-0,3 мм и менее 5-7 секунд при размерах 0,02-0,03 мм.

При введении элементов структуры в состояние резонанса очевидно, будет иметь значение их форма: чем она сложнее, тем труднее добиться резонанса, поскольку распределение волнового процесса будет разным в различных направлениях. В этом случае необходимо вести обработку на частотах высших гармоник. Для количественной оценки формы элементов структуры проведен их фрактальный анализ, показавший, что фрактальная размерность структуры незакаленных сталей и цветных металлов выше, чем закаленных сталей, но при этом больше размер зерна. У керамических материалов фрактальная размерность минимальная. Наибольшую размерность порядка 1,75-2,5 имеют плазмонапыленные покрытия.

Результаты экспериментов по вдавливанию конического индентора при амплитуде 4-5 мкм и частоте 22 кГц в полированную поверхность различных материалов (рис. 3) показывают, что размеры отпечатка существенно зависят от свойств материала образца, но отличия результатов в зависимости от схемы вдавливания (с ультразвуком и без ультразвука) для одного и того же материала неявно зависят микротвердости поверхности.

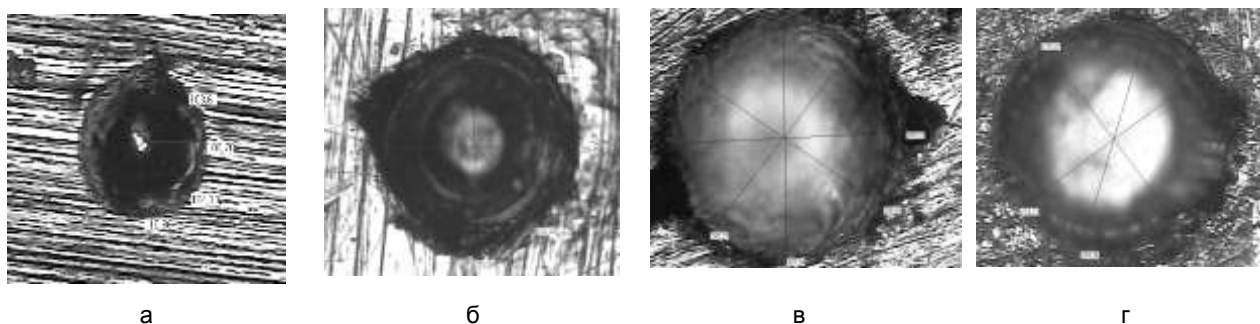


Рис. 3. Влияние ультразвука на размеры отпечатка от вдавливания индентора в сталь 45: в состоянии поставки а – без ультразвука; б – с ультразвуком; после термообработки в – без ультразвука, г – с ультразвуком

При этом коэффициент корреляции по размерам зерен превышает таковой по микротвердости поверхности на 50-60% и по фрактальной размерности – на 30-35%. Таким образом, на основе постановочных опытов можно заключить, что на эффективность ультразвука в большей степени влияют параметры структуры, а не твердость поверхности материала, что подтверждает наши предположения о возможности повышения производительности и качества ультразвуковой обработки путем установления связи частоты колебаний и размеров элементов структуры с целью обеспечения условий структурного резонанса. Для получения адекватных зависимостей для разных конструкционных материалов необходимы комплексные экспериментальные исследования.

#### Выводы

1. Одним из путей повышения эффективности ультразвуковой обработки может быть применение частот колебаний инструмента, одна из высших гармоник которых является резонансной для структуры материала. Получены зависимости, определяющие минимальную амплитуду колебаний и время разрушения элементов структуры в условиях их резонансного разрушения.

2. Экспериментально подтверждена более явная связь производительности ультразвуковой обработки от размеров элементов структуры по сравнению с другими параметрами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бржозовский Б.М. Физические основы, технологические процессы и оборудование ультразвуковой обработки материалов: учеб. пособие / Б.М. Бржозовский, Н.В. Бекренев, О.В. Захаров, Д.В. Трофимов. Саратов: СГТУ, 2006. 208 с.
2. Марков А.И. Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов / А.И. Марков. М.: Машиностроение, 1968.
3. Степин П.А. Сопротивление материалов: учеб. пособие / П.А. Степин. 8-е изд. М.: Высш. шк., 1988. 367 с.

**Бекренев Николай Валерьевич –**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теория механизмов и детали машин» Саратовского государственного технического университета

**Протасова Наталья Владимировна –**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»  
Саратовского государственного технического университета

**Петровский Алексей Петрович –**

аспирант кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.9.048.7

**Н.В. Бекренев, А.И. Шумилин, В.М. Фирсов**

**ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
ШЛИФОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИНО-  
И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ИНСТРУМЕНТОМ  
С МИКРОНЕРОВНОСТЯМИ, ОБРАЗОВАННЫМИ  
ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ СПОСОБОМ**

*Приведены результаты исследований процесса образования на дисковом металлическом инструменте режущих микронеровностей путем электроискрового нанесения порошкового материала непосредственно при шлифовании деталей машино- и приборостроения. Показана возможность применения данного способа вместо абразивной обработки при шлифовании труднообрабатываемых материалов.*

**N.V. Bekrenev, A.I. Shumilin, V.M. Firsov**

**PHYSICAL LAWS AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF GRINDING  
OF DETAILS MACHINE-AND INSTRUMENT MAKING THE METAL TOOL  
WITH THE MICROROUGHNESSES FORMED IN THE ELECTROSPARK WAY**

*Results of researches of process of formation on the disk metal tool of cutting microroughnesses by electro spark drawing a powder material are resulted directly at grinding details machine-and instrument making. The opportunity of application of the given way instead of abrasive processing is shown at grinding difficultly processable materials.*

Применение нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов на основе титана, антимагнитных сплавов, обладающих повышенной пластичностью, низкой теплопроводностью, высокой адгезионной способностью, значительно усложняет механическую обработку, особенно чистовую, деталей машин, точных механизмов и приборов. Вместе с тем область применения этих материалов постоянно расширяется, так как их применение обеспечивает значительное повышение эксплуатационных параметров изделий. При шлифовании этих материалов наблюдается засаливание абразивного инструмента, что требует частых правок его и является причиной повышенного износа. Это, в свою очередь, снижает точность обработки деталей. В связи с этим во многих случаях приходится снижать производительность шлифования в 1,5-2 раза.

Нами исследован процесс и разработан способ шлифования труднообрабатываемых материалов металлическим инструментом, на рабочую поверхность которого электроискровым способом непосредственно в процессе шлифования наносятся режущие микронеровности [1-3]. Идея данного способа была впервые предложена в НИТИ (г. Саратов) к.т.н. А.А. Горбуновым. По физической сущности данный способ нанесения микронеровностей аналогичен электроискровому легированию. Отличие заключается во введении между анодом и катодом-инструментом металлического порошка, например чугунной дроби, определенного размера.

В нашем случае частицы металлического порошка подаются дозирующим устройством в зазор электрод – диск (круг – инструмент). Попадая в рабочий зазор (рис. 1), частица замыкает электрическую цепь электрод – диск, в результате чего происходит электрический разряд. Участники контакта – частицы с диском и электродом, имеют повышенное электрическое сопротивление. Поэтому на них в результате пробоя выделяется в начальный момент основная доля тепла. Диск имеет большую массу по сравнению с электродом и следовательно, он более интенсивно отводит тепло. В результате частица приваривается к кругу и приобретает его скорость. В наибольшей степени размеры исходных частиц определяются требуемой шероховатостью поверхности и емкостью разрядного конденсатора источника питания.

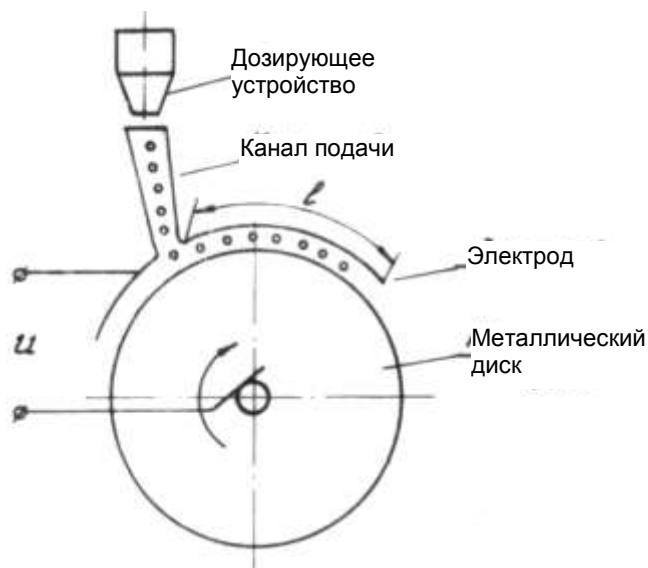


Рис. 1. Схема нанесения на поверхность круга режущих микронеровностей

Размеры агломератов определяются электрическими параметрами дуги. Количество агломератов на 1 мм ширины инструмента и длина электрода оказывают несущественное влияние.

Закономерность износа инструмента-круга при данном способе обработки определяется одновременным воздействием двух процессов – скорости нанесения частиц на поверхность круга и интенсивности износа этих частиц при резании. Испытано несколько вариантов обработки, схемы которых приведены на рис. 2. Для получения стабильной точности и шероховатости обработки на инструмент наносят неровности, равные по величине исходным, а интенсивность нанесения уравнивают с интенсивностью их износа, что показано на рис. 2 а. В этом случае неровности, приведенные на кривой 1, изнашиваются и одновременно электроискровым процессом восстанавливаются (показано

кривой 2). Номинальный диаметр инструмента не изменяется, а его режущие свойства сохраняются постоянными в процессе длительной обработки.

Возможен процесс обработки, при котором неровности на инструмент наносят в течение цикла обработки с интенсивностью меньшей интенсивности их износа, это показано на рис. 2 б. В этом случае исходные режущие неровности, показанные кривой 3 постепенно изнашиваются и вершины их округляются (показано кривой 4).

За счет этого сьем материала уменьшается, одновременно уменьшается шероховатость обработанной поверхности и возрастает наклеп поверхностного слоя изделия, так как округлые вершины, помимо срезания, производят выглаживание поверхности. При обработке относительно мягких материалов, например, медных и алюминиевых сплавов, а также для исключения повышенного наклепа изделия, обработку целесообразно проводить по схеме, поясняемой рис. 2 в. В этом случае в течение цикла обработки последовательно наносят неровности меньшей величины, чем предыдущие с интенсивностью, равной интенсивности износа. Поэтому первоначально производится черновая обработка крупными неровностями (кривая 5), затем по мере износа наносят неровности среднего размера (кривая 6) и т.д. Окончательную обработку осуществляют мелкими неровностями (кривая 7). По завершении цикла обработки восстанавливают неровности исходной величины (кривая 5) и цикл обработки повторяют.

При необходимости увеличения диаметра инструмента в процессе обработки, например, для получения конических поверхностей при обработке тел вращения, обработку производят с закономерностью нанесения неровностей, поясняемой рис. 2 г. Для этого интенсивность нанесения неровностей на инструмент делают больше, чем интенсивность их износа.

Проведенные эксперименты выявили и то обстоятельство, что единичные неровности весьма критичны к нагрузке. Например, индентор, имеющий радиус округления  $\rho \approx 0,5$  мм, выдерживает длительные нагрузки, не превышающие 3-4 Н. Это говорит о том, что при создании технологического процесса шлифования спецкругами, режущие элементы которых получены электроискровым легированием, необходимо стремиться по возможности к уменьшению силы  $P_y$ , приходящейся на одну единичную неровность, а этого можно достигнуть за счет увеличения плотности их нанесения и уменьшения размеров.

Полученные результаты показывают, что высота неровностей растет с ростом напряжения из-за увеличения энергии отдельных разрядов. Наблюдалось сплавление мелких частиц в крупные конгломераты. При этом повышается однородность размеров агломератов. По-видимому, необходимо поддержание соответствия между размерами наносимых частиц и величиной разрядного импульса. При изучении режущих свойств специальных кругов, оценивали объемную производительность, шероховатость обработанной поверхности, режущую способность кругов, износ инструмента.

Проведенные эксперименты показали, что для успешного применения исследуемого метода обработки необходимо стремиться к выполнению следующих условий:

1. Подача металлического порошка должна осуществляться равномерно и по всей поверхности круга – инструмента.
2. Электроды должны занимать большую поверхность круга (включая периферийную).
3. Зазор между электродами, кругом должен быть минимальным (с учетом зернистости наносимого порошка).
4. Скорость частиц порошка должна быть направлена в сторону движения круга и по величине соизмерима с его окружной скоростью.

Для применения нового метода обработки нет необходимости в создании нового оборудования, а целесообразно осуществлять его на серийно выпускаемых шлифовальных станках. Модернизация станка касается некоторых переделок защитного кожуха круга или изготовления нового.

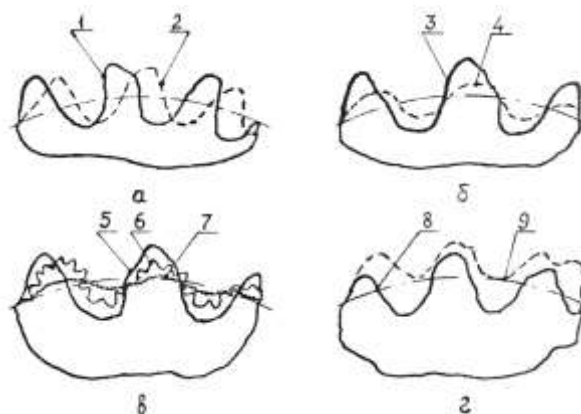


Рис. 2. Схемы сочетания процессов нанесения и износа агломератов

Подача электроэнергии в зону образования специального инструмента может осуществляться от источника переменного или постоянного тока, который стабильно обеспечивает регулирование напряжения и тока в межэлектродном зазоре в диапазоне  $U = 50-150$  В и  $J = 2-15$  А. Электрические параметры в основном определяются условиями обработки: требуемой производительности процесса, качеством получаемых поверхностей обрабатываемых деталей.

#### **Выводы**

1. Размеры наносимых неровностей возрастают при увеличении напряжения и уменьшении тока в разрядном промежутке. Увеличение электрической мощности в 5-6 раз вызывает рост размеров неровностей более чем на порядок и снижение разброса их по высоте почти в 3 раза.

2. Чем больше отношение скорости воздуха к скорости круга, тем больше размеры микронеровностей, что связано со снижением относительной скорости движения частиц и поверхности круга, максимум наблюдается при равенстве скоростей (отношение равно единице). При дальнейшем увеличении скорости воздуха высота неровностей уменьшается.

3. С увеличением размеров неровностей и прочности материала шероховатость поверхности детали уменьшается. В целом шероховатость обработки меньше, чем при абразивном шлифовании, что объясняется большими радиусами округления агломератов вследствие термического метода их образования.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. А.с. СССР № 841193. Способ образования режущей поверхности инструмента / А.А. Горбунов, А.И. Марков, С.И. Петров, Е.П. Калинин, В.М. Фирсов. 1981.

2. Электроразрядное формирование абразивоподобного покрытия металлического шлифовального инструмента / Н.В. Бекренев, В.М. Фирсов, С.Н. Барабанов, А.А. Караваев, В.Н. Гамалеев // Технология металлов. 2009. № 2. С. 46-49.

#### **Бекренев Николай Валерьевич –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Теория механизмов и детали машин»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Шумилин Александр Иванович –**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Фирсов Владимир Михайлович –**

ведущий конструктор КБ «Электроприбор», г. Саратов

УДК 621.791.03-52

**П.Ю. Бочкарев, Л.Г. Бокова**

### **ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНООБРАБОТКИ**

*Рассматриваются вопросы оценки технологичности деталей в системе автоматизированного планирования технологических процессов механообработки, связь технологичности с другими свойствами конструкции изделий.*

---

P.Y. Bochkarev, L.G. Bokova

**THE PROCEDURE OF AN ESTIMATION OF ADAPTABILITY  
TO MANUFACTURE OF DETAILS IN THE SYSTEM  
OF THE AUTOMIZED PLANNING MASTER SCHEDULES OF A MACHINING**

*The problems of an estimation of adaptability to manufacture of details in the system of the automized planning of master schedules of a machining, link of adaptability to manufacture with other properties of a construction of items are considered.*

Совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструктивных параметров к достижению оптимальных результатов при производстве для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ, представляет собой технологичность конструкции изделия. Связь технологичности с другими свойствами конструкции изделий проявляется в форме разрешения противоречий между элементами технологических процессов, с одной стороны, и элементами изделия с другой, поэтому при анализе процессов разработки конструкции изделия необходимым условием является учет технологических процессов изготовления изделий. Учет технологических требований при конструировании изделий отражает противоречия между техническими требованиями к функциональному назначению и качеству изделия и технологическими требованиями к условиям его производства. Тенденции совершенствования технологической подготовки производства ставят принципиально новые задачи конструкторского и технологического характера, которые призваны более активно решать основные вопросы развития техники и технологии с учетом специфических особенностей конкретных производств. В связи с широким внедрением методов автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов при количественной оценке технологичности конструкций выбор тех или иных вариантов их производства должен основываться на обширной информационной модели системы технологической подготовки производства, базирующейся на принципах реального отражения процесса разработки технологических процессов их изготовления и управления этими процессами в ходе их реализации.

Технологичность является важнейшей технической основой, обеспечивающей наиболее широкое использование конструкторско-технологических резервов для наиболее полного решения задач, связанных с повышением технико-экономических показателей изготовления и качества изделий с обеспечением заданных технических требований. Понятие технологичности конструкции предусматривает такое проектирование, которое при соблюдении всех технических требований обеспечивает минимальные трудоемкость изготовления, материалоемкость и себестоимость, а также возможность быстрого освоения выпуска изделий в условиях многономенклатурного производства на базе применения современного высокопроизводительного оборудования, методов обработки и автоматизации технологической подготовки производства.

Одним из основных направлений развития технологического обеспечения производственных систем в механообрабатывающей промышленности вследствие постоянных и всеобщих тенденций, связанных с увеличением номенклатуры и ускорением сменяемости изделий, и, как следствие, резким снижением отдачи капитальных вложений, являются работы в области автоматизации процессов проектирования и реализации технологических процессов. Особенности современного машиностроительного производства, стремление к его интенсификации в условиях частой сменяемости выпускаемой продукции выдвигают на первый план задачу сокращения сроков разработки технологических процессов и повышения качества проектных решений. Технологическое обеспечение эффективного функционирования производственных систем с учетом соответствия заданных параметров производительности и качества изготавливаемых деталей должны основываться на комплексном подходе с учетом его изменения на протяжении всего производственного цикла.

В СГТУ ведутся работы по созданию системы, обеспечивающей автоматизацию технологической подготовки механообрабатывающих производств, в основу которой заложены возможности реализации изготовления деталей произвольной номенклатуры в заданных пределах значений их характеристик [1, 2]. Анализ различных технологических процессов механообработки показывает, что каждый из них обладает целым рядом специфических особенностей, свойственных данному технологическому процессу. Только полное использование всех специфических особен-

ностей каждого из технологических процессов позволяет достичь наибольшей его производительности и эффективности. Во многом возможность наиболее экономичного изготовления деталей при требуемом качестве и заданном объеме выпуска и серийности обеспечивает технологичность их конструкции.

Технологичность конструкции необходимо рассматривать как комплексное решение задачи создания конструкции, обеспечивающей возможность использования всех особенностей технологических процессов во времени и пространстве, т.е. относя ее к определенным производственным заданиям и условиям. Под условиями, кроме существующего взгляда на технологичность конструкции машин и ее деталей как функцию их объема выпуска и серийности, предлагается учитывать такую важную составляющую функционирования производственной системы, как подсистему, обеспечивающую технологическую подготовку производства и организационное сопровождение реализации технологического процесса.

В рамках производственной системы одновременно производится обработка деталей различных наименований, и эффективность работы системы во многом определяется технологической совместимостью деталей, которая определяется как однотипностью средств технологического оснащения, так и возможностью рациональной реализации процессов изготовления деталей, связанных с ситуационной перестройкой технологических процессов на различных этапах.

Создание или серьезное изменение подходов к организации технологического обеспечения производственных систем не может не отразиться на комплекте оценочных показателей технологичности изготавливаемых деталей. При создании системы планирования многономенклатурных технологических процессов механообработки, в основу которой положена многовариантность реализации технологических процессов с учетом реально складывающейся производственной ситуации, оценка деталей на технологичность должна учитывать следующие дополнительные факторы:

- Технологичность детали зависит от реальных технологических возможностей оборудования в рамках рассматриваемой производственной системы. Сформированная база данных, отражающая технологические возможности оборудования, позволяет провести анализ и дать количественную оценку соответствия между заданными техническими требованиями на изготовление и возможностями производственной системы.

- Оценка технологичности конструкции должна вестись на основе показателей, учитывающих возможность многовариантной реализации технологических процессов в реальных производственных условиях, т.е. показатели должны отражать вероятностный характер реального процесса изготовления деталей и предоставлять возможность определить предельные значения технологичности.

- Методика оценки технологичности деталей должна строиться не для каждой отдельной детали, а для всей номенклатуры деталей, обработка которых происходит в рассматриваемый интервал времени в рамках одной производственной системы.

Учет представленных факторов предлагается вести посредством разработки следующих моделей и методик, реализация которых в системе планирования технологических процессов механообработки в виде самостоятельных проектных процедур предусматривается в следующей последовательности:

1. Проверка конструктивных характеристик деталей на возможность их изготовления в рамках конкретной производственной системы с учетом технологических возможностей механообрабатывающего оборудования.

2. Определение уровня использования технического потенциала оборудования при изготовлении отдельных деталей и всей запланированной номенклатуры деталей.

3. Оценка комплекта изготавливаемых деталей по показателю однородности по виду и конструктивным характеристикам поверхностей как составляющих элементов деталей и заключение о степени их унификации.

4. Прогнозирование технико-экономических показателей изготовления запланированной номенклатуры деталей с целью выработки предложений по формированию рационального комплекта деталей для конкретно сформировавшихся реальных производственных условий.

Выполненный анализ по представленным процедурам позволит на этапе формирования комплекта обрабатываемых деталей дать оценку их технологичности с точки зрения соответствия тем основным принципам, которые заложены при разработке системы планирования многономенклатурных технологических процессов.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкарев П.Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки / П.Ю. Бочкарев // Технология машиностроения. 2002. № 1. С. 10-14.
2. Бочкарев П.Ю. Планирование технологических процессов в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем. Теоретические основы разработки подсистем планирования маршрутов технологических операций: учеб. пособие / П.Ю. Бочкарев, А.Н. Васин. Саратов: СГТУ, 2004. 136 с.

**Бочкарев Петр Юрьевич –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Проектирование технических и технологических комплексов»  
Саратовского государственного технического университета

**Бокова Лариса Геннадьевна –**

ассистент кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.791.03-52

**П.Ю. Бочкарев, Д.А. Елисеев, В.В. Шалунов**

**ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ  
МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩИХ СИСТЕМ**

*Рассматриваются принципы построения существующих и перспективных систем автоматизированного планирования и проектирования технологических процессов механообработки.*

**P.Y. Bochkarev, D.A. Eliseev, V.V. Shalunov**

**COMMON PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF THE AUTOMIZED SYSTEM  
OF PLANNING OF MASTER SCHEDULES**

*The principles of construction of existing and perspective systems of the automatized planning and designing of master schedules of a machining are considered.*

В машиностроении в настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к расширению удельного веса мелкосерийного многономенклатурного производства. Происходят непрерывный рост объемов производства, резкое увеличение номенклатуры выпускаемых изделий, систематическое ее обновление, сокращение сроков пребывания изделий в производстве и возрастание требования к техническому уровню изделий, к качеству их изготовления. В этих условиях решение вопросов комплексной автоматизации привело к качественно новому подходу – созданию компьютерно-интегрированных производств, которые сочетают высокую производительность с возможностью быстрой переналадки на выпуск новой продукции. Одним из обязательных условий функционирования компьютерно-интегрированных производств является задача создания автоматизированных систем проектирования технологических процессов, отвечающих требованиям адаптации к конкретной производственной системе и обладающих возможностью оперативной корректировки технологии.

Разработка систем автоматизированного проектирования технологических процессов механообработки является крайне актуальной задачей. В условиях дефицита высококвалифицированных кадров, быстро меняющейся конъюнктуры рынка остро встаёт вопрос о сроках и качестве технологической подготовки производства.

Все применяемые системы автоматизированного проектирования можно разделить на два класса: интерактивные – требующие присутствия технолога, который, используя базы знаний системы, самостоятельно разрабатывает технологический процесс; и пакетные – производящие расчёт технологического процесса самостоятельно.

Пакетное проектирование технологического процесса может вестись разными способами, наиболее распространённым из которых является метод групповой технологии. Реализация этого метода не находит широкого применения в связи жесткими требованиями к подобию обрабатываемых деталей и сложностью формирования комплексного технологического процесса.

Создание полностью автоматической системы проектирования технологического процесса механообработки возможно только в случае полной формализации всех проектных процедур, создания математических моделей: заготовки, конечного изделия и процессов обработки.

При наличии математических моделей становится возможным направленный поиск технологической последовательности для преобразования заготовки в деталь. Поиск можно выполнять как в прямом, так и в обратном порядке.

Процесс поиска может вестись либо на основе правил, либо полным перебором всех возможных вариантов. И та и другая схема, лежащая в основе системы автоматического проектирования технологического процесса, имеет как свои достоинства, так и недостатки.

Для составления правил поиска требуется привлечение высококвалифицированных специалистов. Разработка правил должна вестись каждый раз, когда требуется деталь, не являющаяся модификацией уже созданной детали.

Во-первых, привлечение специалистов является весьма дорогостоящей операцией, во-вторых, требуемого специалиста может просто не оказаться в нужный момент. С другой стороны, в таких системах отсутствует полный перебор всех вариантов, что существенно снижает время построения технологического процесса.

Напротив, система, реализующая полный перебор всех возможных вариантов, не требует наличия эксперта или каких-то правил (за исключением правил существования операции и т.п.). Такая система позволяет найти все возможные варианты создания детали, даже такие, которые технолог-человек никогда бы не отважился предположить. Среди найденных вариантов по какому-либо критерию можно осуществить выборку наиболее подходящего.

Недостатком таких систем является то, что процесс построения всех возможных комбинаций значительно затянута во времени и может потребовать огромных ресурсов памяти для хранения промежуточных результатов.

На самом деле, вариантов построения технологического процесса может быть значительно больше, но лишь два указанных гарантируют получение результата, если таковой возможен. Чисто теоретически для синтеза технологической карты можно привлечь аппарат нейронных сетей или генетические алгоритмы, но полученный с их помощью результат будет необоснованным.

Для того чтобы устранить существующие недостатки, следует применять комбинированный подход, а именно выделить ряд базовых правил, применимых для всех типов деталей, и использовать их в качестве критериев отсева на этапе построения дерева всех возможных вариантов технологического процесса. В зависимости от количества и характера правил можно добиться существенного снижения времени перебора за счёт значительного сокращения количества рассматриваемых вариантов. С другой стороны, введение правил влечёт за собой снижение эффективности метода, так как не исключён вариант, когда правило может отсечь один или несколько вариантов технологического процесса.

В идеальном случае такая система должна иметь настраиваемый механизм правил. Если программа не содержит ни одного ограничивающего правила, то она становится «чистой» системой полного перебора, и наоборот, когда в программе слишком много правил, то её поведение будет подобно системе, основанной на экспертных знаниях.

Помимо рассмотренных методов, существует ещё целый ряд приемов, позволяющих ускорить процесс автоматического создания технологического процесса. Во-первых, можно увеличить такто-

вую частоту процессора и быстродействие оперативной памяти, а также ее объем. Во-вторых, можно распараллелить процесс вычислений за счет использования многоядерных и многопроцессорных машин, а также вычислительных кластеров.

Алгоритм построения дерева можно легко разбить на несколько частей, представив, что узлами новых поддеревьев являются ветви существующего дерева. Единственным тонким местом в рассматриваемой задаче является необходимость просмотра всех уже полученных результатов с целью выявления циклических ветвей, приводящих к бесконечным деревьям. Эту наиболее трудоемкую задачу можно попытаться ускорить путем введения системы кодирования и хеширования полученных решений.

В результате каждому решению или комбинации, полученной на некотором шаге, будет поставлено в соответствие некоторое число, которое должно зависеть от конфигурации некоторым образом. Одинаковые конфигурации должны давать одинаковые числа. В дальнейшем дерево можно строить, проверяя не вершины, а соответствующие им числа – хеши.

Необходимость проверки всего дерева каждым отдельным вычислительным модулем говорит о необходимости использования общей памяти, что ограничивает класс параллельных вычислителей лишь многопроцессорными компьютерами.

Если расширить архитектуру программы, строящей дерево, до гетерогенной, то возможен вариант, когда существует центральный диспетчер, который занимается проверкой вариантов и подстановкой их в дерево, и группа программных агентов, каждый из которых занят построением собственного куса дерева. В таком случае значительный объем памяти требуется иметь только в том месте, где выполняется программа центрального диспетчера, а остальные компоненты будут обращаться к этой программе по сети. С другой стороны, в этом случае требуется сеть со значительной пропускной способностью для обеспечения приемлемой скорости вычислений.

Таким образом, конечная архитектура автоматической системы проектирования технологического процесса должна быть модульной, с возможностью добавления модулей, включающих новый функционал системы; настраиваемой, для того чтобы можно было самостоятельно выбирать уровень автоматизации (либо полный перебор, либо экспертная система), при этом система должна допускать функционирование в гомогенных и гетерогенных многопроцессорных компьютерных средах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкарев П.Ю. Планирование технологических процессов в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем. Теоретические основы разработки подсистем планирования маршрутов технологических операций: учеб. пособие / П.Ю. Бочкарев, А.Н. Васин. Саратов: СГТУ, 2004. 136 с.

2. Бочкарев П.Ю. Планирование технологических процессов в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем. Теоретические основы разработки подсистем планирования технологических операций: учеб. пособие / П.Ю. Бочкарев, А.Н. Васин. Саратов: СГТУ, 2004. 74 с.

**Бочкарев Петр Юрьевич** –

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Проектирование технических и технологических комплексов»  
Саратовского государственного технического университета

**Елисеев Дмитрий Владимирович** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Системотехника»  
Саратовского государственного технического университета

**Шалунов Вячеслав Викторович** –

ассистент кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов»  
Саратовского государственного технического университета

И.Г. Браилов, С.П. Андросов

## КАСАТЕЛЬНАЯ К ЭВОЛЬВЕНТЕ, ВЫРАЖЕННОЙ ВЕКТОРНОЙ ФУНКЦИЕЙ

Определены зависимости для нахождения ортов касательной, соответствующей мгновенному положению режущей кромки инструмента, к эвольвентному профилю зуба и переходным кривым в форме удлиненной и укороченной эвольвент, выраженных параметрическими векторными функциями. Полученные результаты предназначены для моделирования процесса зубофрезерования методом обката в пространственном отображении.

I.G. Brailov, S.P. Androsov

## TANGENT OF AN EVOLVENT, EXPRESSED BY THE VECTOR FUNCTION

A dependences for a finding of orths of tangent, assorted to a momentary location of tool nose, to an involute tooth profile and to a crossover blends in form of lengthend and shortened evolvents, expressed by the parametric vector function, are determined. The received results intend for modelling process of gear milling by rolling method in spatial representation

Современное развитие вычислительной техники позволяет моделировать сложные многопараметрические и многофункциональные задачи в металлообработке, например, фрезерование зубчатых колес. Процесс зубообработки червячными модульными фрезами характеризуется тем, что он является объемным, поэтому его моделирование требует рассмотрения пространственного взаимодействия обрабатываемой заготовки и фрезы. В связи с этим возникает необходимость описания данного процесса векторными функциями в параметрах станочных систем, что дает возможность аффинных преобразований [1, 2].

При зубофрезеровании методом обката в процессе нарезания зубьев заготовка и режущий инструмент воспроизводят движение сопряженной зубчатой пары – колеса и рейки. Касательная  $\bar{T}$  к эвольвентному профилю зуба (рис. 1) соответствует мгновенному положению режущей кромки инструмента, совершающего рабочее движение подачи вдоль оси детали заготовки. Кроме того, касательная  $\bar{T}$  к профилю в рассматриваемой точке  $M$  и вектор  $\bar{r}$  определяют угол давления  $\alpha$ , который равен углу профиля эвольвенты –  $\angle MON$ .

В работе рассматривается описание касательной к эвольвенте, выраженной параметрической векторной функцией  $\bar{r}$  (рис. 1). Такая функция записывается как сумма двух векторов

$$\bar{r} = \bar{r}_1 + \bar{r}_2, \quad (1)$$

где  $\bar{r}_1$  – вектор, восстанавливаемый из центра  $O$  основной окружности радиуса  $R$  и направленный в точку касания  $N$  с производящей прямой  $MN$ ;  $\bar{r}_2$  – вектор, направленный по производящей прямой  $MN$ .

Выражение векторной функции  $\bar{r}$  в координатной форме имеет вид

$$\bar{r} = \begin{bmatrix} R \cdot \sin \varphi \\ R \cdot \cos \varphi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi \\ R \cdot \varphi \cdot \sin \varphi \end{bmatrix}, \quad (2)$$

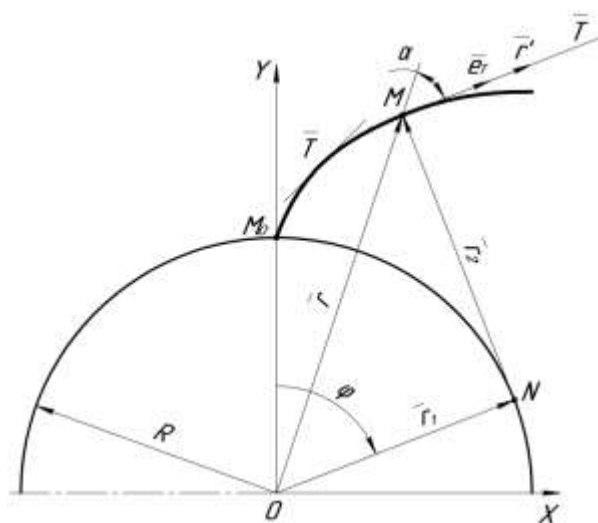


Рис. 1. Касательная к эвольвенте

где  $\varphi$  – угол поворота вектора  $\bar{r}_1$  относительно своего исходного положения, которым является начальная точка эвольвенты  $M_0$  (рис. 1).

Вектор производной векторной функции  $\bar{r}$

$$\bar{r}'(\varphi) = x'(\varphi) \cdot \bar{i} + y'(\varphi) \cdot \bar{j} \quad (3)$$

направлен по касательной  $\bar{T}$  к эвольвенте. В результате дифференцирования выражения (2) находятся компоненты вектора  $\bar{r}'(\varphi)$  по координатным осям:

$$x'(\varphi) = \frac{d(R \cdot \sin \varphi - R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi)}{d\varphi} = R \cdot \varphi \cdot \sin \varphi;$$

$$y'(\varphi) = \frac{d(R \cdot \cos \varphi + R \cdot \varphi \cdot \sin \varphi)}{d\varphi} = R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi. \quad (3)$$

Модуль вектора  $\bar{r}'(\varphi)$  имеет значение:

$$|\bar{r}'(\varphi)| = \sqrt{[x'(\varphi)]^2 + [y'(\varphi)]^2} = R\varphi. \quad (4)$$

С учетом выражений (3) и (4) определяются проекции единичного вектора касательной  $\bar{e}_T$ , соответствующие направляющим косинусам:

$$\bar{e}_{Tx} = \frac{x'(\varphi)}{|\bar{r}'(\varphi)|} = \frac{R \cdot \varphi \cdot \sin \varphi}{R \cdot \varphi} = \sin \varphi; \quad \bar{e}_{Ty} = \frac{y'(\varphi)}{|\bar{r}'(\varphi)|} = \frac{R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi}{R \cdot \varphi} = \cos \varphi. \quad (5)$$

Выражения (5) показывают, что проекции единичного вектора касательной  $\bar{e}_T$  представляют собой функции синуса и косинуса угла поворота  $\varphi$ . Этот фактор согласуется с тем, что вектор  $\bar{r}_2$ , вектор  $\bar{r}_1$  и касательная  $\bar{T}$  являются взаимно перпендикулярными прямыми.

Как известно, эвольвентный профиль зубьев не является полностью эвольвентным. Часть профиля у основания зуба выполняет роль переходной кривой, соединяющей основную поверхность зуба с поверхностью впадин. В зависимости от способа изготовления зубьев колеса переходная кривая может быть очерчена по окружности, по удлиненной и укороченной эвольвентам, по эпициклоиде и другим кривым. Далее в работе рассматривается описание касательной к удлиненной и укороченной эвольвентам, выраженным векторными функциями.

Удлиненную эвольвенту  $A_0A_1$  (рис. 2 а) описывает точка  $A$ , которая жестко связана с точкой  $M$  производящей прямой  $NM$ , перекатывающейся без скольжения по основной окружности радиуса  $R$ . Вектор  $\bar{r}_3$  проведен перпендикулярно вектору  $\bar{r}_2$ , конец которого описывает эвольвентную кривую  $M_0M_1$ . Векторная функция  $\bar{r}$  удлиненной эвольвенты складывается из суммы трех векторов

$$\bar{r} = \bar{r}_1 + \bar{r}_2 + \bar{r}_3. \quad (6)$$

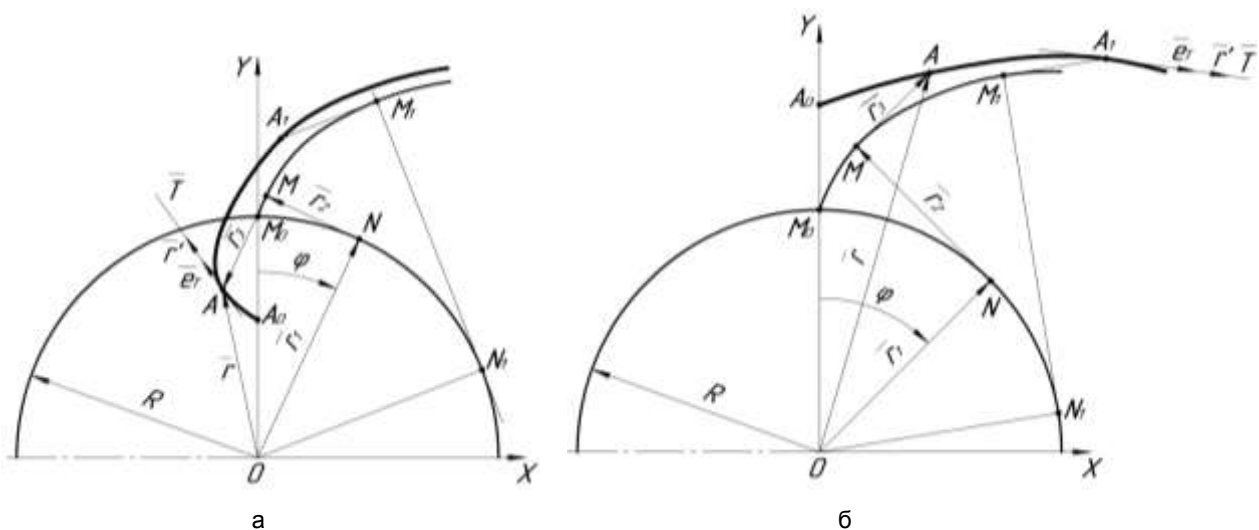


Рис. 2. Касательная к удлиненной (а) и укороченной (б) эвольвентам

Векторы  $\bar{r}_1$  и  $\bar{r}_2$  рассматривались ранее при описании векторной функции эвольвенты. Вектор  $\bar{r}_3$  всегда параллелен вектору  $\bar{r}_1$ . Поэтому, принимая во внимание векторную функцию эвольвенты (2), можно записать значения проекций единичного вектора  $\bar{r}_3$ :

$$\bar{e}_{3x} = \sin \varphi; \quad \bar{e}_{3y} = \cos \varphi. \quad (7)$$

Тогда векторная функция удлиненной эвольвенты в координатной форме принимает вид [2]:

$$\bar{r} = \begin{bmatrix} R \cdot \sin \varphi \\ R \cdot \cos \varphi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi \\ R \cdot \varphi \cdot \sin \varphi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -L \cdot \sin \varphi \\ -L \cdot \cos \varphi \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где  $L = |\bar{r}_3|$  – длина вектора  $\bar{r}_3$ . Величина  $L$  зависит от параметров нарезаемого зубчатого колеса.

Компоненты по координатным осям вектора  $\bar{r}'(\varphi)$ , направленного по касательной  $\bar{T}$  к удлиненной эвольвенте (рис. 2 а), имеют значения:

$$x'(\varphi) = \frac{d(R \cdot \sin \varphi - R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi - L \cdot \sin \varphi)}{d\varphi} = R \cdot \varphi \cdot \sin \varphi - L \cdot \cos \varphi; \quad (9)$$

$$y'(\varphi) = \frac{d(R \cdot \cos \varphi + R \cdot \varphi \cdot \sin \varphi - L \cdot \cos \varphi)}{d\varphi} = R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi + L \cdot \sin \varphi.$$

Модуль вектора  $\bar{r}'(\varphi)$  и проекции единичного вектора касательной  $\bar{e}_{Tx}$  и  $\bar{e}_{Ty}$ , после преобразований принимают выражения:

$$|\bar{r}'(\varphi)| = \sqrt{[x'(\varphi)]^2 + [y'(\varphi)]^2} = \sqrt{(R\varphi)^2 + L^2}; \quad (10)$$

$$\bar{e}_{Tx} = \frac{x'(\varphi)}{|\bar{r}'(\varphi)|} = \frac{R \cdot \varphi \cdot \sin \varphi - L \cdot \sin \varphi}{\sqrt{(R \cdot \varphi)^2 + L^2}}; \quad \bar{e}_{Ty} = \frac{y'(\varphi)}{|\bar{r}'(\varphi)|} = \frac{R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi + L \cdot \sin \varphi}{\sqrt{(R \cdot \varphi)^2 + L^2}}. \quad (11)$$

Укороченная эвольвента (рис. 2 б) образуется также тремя векторами. При этом вектор  $\bar{r}_3$  направлен под углом  $90^\circ$  относительно вектора  $\bar{r}_2$ , но в противоположную сторону в сравнении с таким же вектором удлиненной эвольвенты. Другими словами, вектор  $\bar{r}_3$  имеет такую же направленность, что и вектор  $\bar{r}_1$ , исходящий из центра  $O$  основной окружности и соединяющий точку ее касания с производящей прямой  $MN$ . Проекции единичного вектора  $\bar{r}_3$  будут иметь значения:

$$\bar{e}_{3x} = \sin \varphi; \quad \bar{e}_{3y} = \cos \varphi. \quad (12)$$

С учетом вышесказанного уравнение векторной функции  $\bar{r}$  укороченной эвольвенты в координатной форме записывается в следующем виде [2]:

$$\bar{r} = \begin{bmatrix} R \cdot \sin \varphi \\ R \cdot \cos \varphi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi \\ R \cdot \varphi \cdot \sin \varphi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_1 \cdot \sin \varphi \\ L_1 \cdot \cos \varphi \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где  $L_1 = |\bar{r}_3|$  – длина вектора  $\bar{r}_3$ .

Дифференцирование векторной функции (13) определяет значения проекций вектора  $\bar{r}'(\varphi)$  на координатные оси:

$$x'(\varphi) = R \cdot \varphi \cdot \sin \varphi + L_1 \cdot \cos \varphi; \quad y'(\varphi) = R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi - L_1 \cdot \sin \varphi. \quad (14)$$

По значениям (14) находят модуль вектора  $\bar{r}'(\varphi)$ , направленного по касательной  $\bar{T}$  к укороченной эвольвенте, и проекции единичного вектора касательной  $\bar{e}_{Tx}$  и  $\bar{e}_{Ty}$ :

$$|\bar{r}'(\varphi)| = \sqrt{(R\varphi)^2 + L_1^2}; \quad (15)$$

$$\bar{e}_{Tx} = \frac{x'(\varphi)}{|\bar{r}'(\varphi)|} = \frac{R \cdot \varphi \cdot \sin \varphi + L_1 \cdot \sin \varphi}{\sqrt{(R \cdot \varphi)^2 + L_1^2}}; \quad \bar{e}_{Ty} = \frac{y'(\varphi)}{|\bar{r}'(\varphi)|} = \frac{R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi - L_1 \cdot \sin \varphi}{\sqrt{(R \cdot \varphi)^2 + L_1^2}}. \quad (16)$$

Таким образом, в работе были получены выражения для вычисления проекций единичных векторов касательной к эвольвенте, к удлиненной и укороченной эвольвентам, выраженных параметрическими векторными функциями. Преимущество такого описания касательных прямых заключается в том, что к ним могут применяться аффинные преобразования, которые позволяют рассматривать

эти прямые в пространственном отображении. Последние имеют большое значение при моделировании формообразования в процессе зубообработки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Браилов И.Г. К вопросу моделирования зубофрезерования / И.Г. Браилов, С.П. Андросов // Наука и производство – 2009: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Брянск: БГТУ, 2009. Ч. 2. С. 16-18.
2. Браилов И.Г. Удлиненная и укороченная эвольвенты, выраженные параметрической векторной функцией / И.Г. Браилов, С.П. Андросов // Известия Самарского научного центра РАН. Спец. выпуск «Актуальные проблемы машиностроения». 2009. С. 179-181.

**Браилов Иван Григорьевич** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная механика»  
Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии

**Андросов Сергей Павлович** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Сопротивление материалов»  
Омского государственного технического университета

УДК 658.562.3

**Б.М. Бржозовский**

**ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ  
СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Обозначены общие проблемы моделирования сложных систем, как в технике, так и в социально-экономической сфере. Показаны трудности моделирования технологического оборудования с учетом их нелинейных и нестационарных свойств. Представлены результаты системного анализа и определены основные критерии оценивания состояния оборудования.*

**B.M. Brzhozovsky**

**PROBLEMS OF MODELING AND IDENTIFICATION  
OF COMPLEX TECHNOLOGICAL SYSTEMS**

*The article discusses general problems of complex system modeling in technology as well as in socio-economic field. It shows the problems of technological equipment modeling due to their nonlinear and unstable properties. The work also presents system analysis results and defines main criteria for equipment condition assessment.*

Как показали исследования системных свойств сложных объектов, необходимые аналитические детерминированные и стохастические математические модели протекающих в них процессов априорно могут быть определены лишь концептуально в общем виде. С другой стороны, идентификация, применяемая для экспериментального определения моделей, для сложных объектов обычно сопряжена с множеством методических трудностей, в том числе и с разделением детерминированной и стохастической составляющих регистрируемых процессов и их количественной интерпретации на свойства управляемых невозмущенных и возмущенных движений системы. В нелинейных системах ее возможности еще более ограничены из-за отсутствия возможности применения принципа суперпозиции.

Эти трудности присущи как техническим, так и социально-экономическим системам. Например, трудно смоделировать процессы на фондовых рынках ММВБ и РТС при падении стоимости акций из-за банкротства ряда кредитных ипотечных институтов в США. Аналогичные трудности возникают при моделировании процессов, связанных с изменением рынка труда и ВВП развитых стран.

Рассмотрим технические системы. Современное станочное оборудование открывает новые технологические возможности для повышения эффективности и качества обработки сложных и точных поверхностей. Это, прежде всего, связано с тем, что металлообрабатывающие станки и комплексы оснащаются высокоэффективными управляемыми приводами, специальными информационными системами и другими функциональными устройствами с улучшенными техническими характеристиками. Совершенствуются несущие конструкции станков. Широко внедряются компьютерные информационно-измерительные и управляющие системы. Все это повышает управляемость объекта. Расширилось применение систем автоматизированного проектирования технологических процессов, оборудования и управляющих программ. Внедряются CALS технологии. В большей степени используется имитационное моделирование на ЭВМ сложных конструкций, слабоформализуемых процессов и влияния на качество формообразования возмущающих воздействий, что позволяет проектировать более совершенные технологические процессы с точки зрения качества и обеспечения инвариантности к некоторым возмущениям. Получили развитие теоретические и экспериментальные методы исследования статистической и динамической точности и надежности станков. Разработка новых методов моделирования нелинейной динамики в машиноведении, в том числе и с учетом синергетики, концептуально позволяет перейти на новый этап формирования управления для рассматриваемых технически сложных объектов машиностроения с улучшенными системными свойствами. Но и здесь имеются ограничения: слабая формализуемость процессов ограничивает применение этих методов в производственных условиях; совместное многомерное движение фазовых траекторий и нечеткость границ фазовых пространств трудно оценить количественно, поэтому на практике возможна применимость лишь качественной теории нелинейных колебаний многомерных динамических систем.

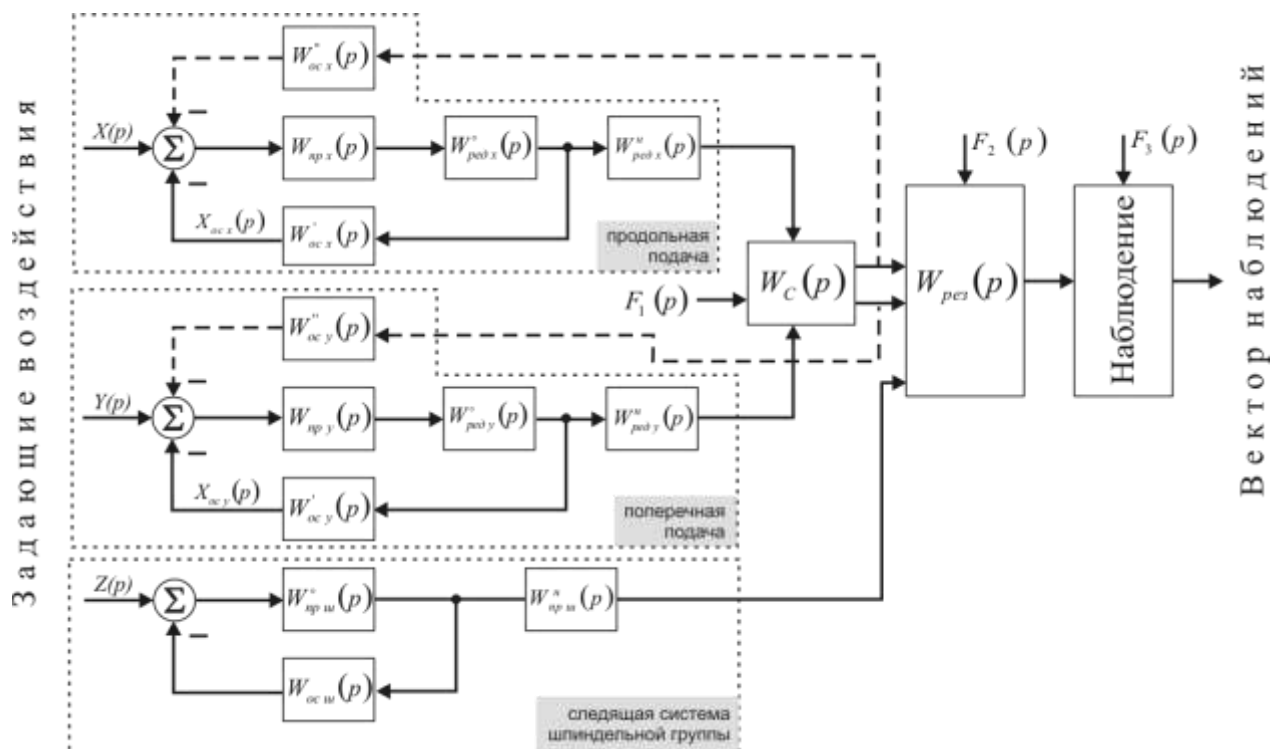
Возникают и другие теоретические и практические трудности в математическом описании рассматриваемых объектов. Множество исследований в области технологий и оборудования для механической обработки завершаются моделями ограниченной размерности с эмпирическими коэффициентами и только для конкретных реализаций технологических процессов. При чистовой обработке сложные динамические процессы при формировании микрогеометрии поверхности практически не учитываются. В то же время для повышения качества формообразования необходимы фундаментальные результаты для более полного априорного моделирования рабочих процессов и возмущений, возникающих в условиях производства, с возможностью их интерпретации на геометрические характеристики детали. Для многосвязанных нелинейных технологических структур даже при условии их стационарного состояния отсутствует теоретическая и практическая возможность получения таких достаточно адекватных реальных фундаментальных моделей с реальными числовыми коэффициентами. В условиях же нестационарного функционирования при смене операций технологического процесса и при действии различных возмущений эти модели каждый раз изменяют свою структуру (или порядок уравнения динамики), что в принципе определяет необходимость формирования баз данных и знаний больших размерностей.

Эти трудности можно было бы минимизировать за счет автоматического управления процессами и объектом в реальном времени. Однако прикладная теория автоматического управления (ТАУ), являющаяся основой для классических задач синтеза, не обеспечивает инженерными методиками синтез регуляторов рассматриваемого класса задач. Классические методы универсальны и не дают возможность в полной мере учесть особенности функционирования сложного технологического оборудования и формообразования при резании для формирования управления в реальном времени. Они были созданы и апробированы в основном для более простых задач ТАУ. Методы и принципы многомерного анализа и управления для подобных задач представлены математической (аналитической) теорией на концептуальном уровне, а для учета особенностей решаемой проблемы всегда требуют дополнительных исследований. Для ряда конкретных приложений все же существуют инженерные разработки, но в них отсутствует универсальность с точки зрения использования для иных объектов и в другой предметной области.

Имеются теоретически и практически трудности отображения рабочих динамических процессов технологического оборудования. Это, в первую очередь, связано с тем, что практически все серийное технологическое оборудование обеспечено только локальными обратными связями, что обуславливает низкую управляемость и наблюдаемость по выходным координатам (критериям). Главная обрат-



ная связь (рис. 1) на практике реализуется лишь в редких случаях, в связи с этим возникает дополнительная неопределенность, раскрыть которую возможно лишь на основе информации при мониторинге качества технологического процесса, поскольку она остается практически единственной информационной базой не только для получения состоятельных оценок, но и для автоматизированной подналадки оборудования в процессе его эксплуатации с изменяющимися воздействиями и параметрами. При этом следует учесть, что прямое управление приводами станка в реальном времени из-за многосвязности структуры и запаздывания информации можно осуществить лишь для медленно протекающих процессов. Многочастотные колебания инструмента относительно заготовки определяются наличием нелинейных элементов в системах, которые при изменении задающих и возмущающих воздействий могут изменять свои характеристики, например, при изменении силы резания. Изменение силы резания также приводит к нестационарности коэффициентов математических моделей.



Структурная схема формообразующей подсистемы САУ токарным станком, где  $W(p)$  – передаточные функции узлов станка по соответствующим координатам управления,  $W_{рез}$  – процесса резания

Аналогичные результаты были получены для различных технологических систем в механообработке. Анализировались также другие технологические объекты, например, газоперекачивающие агрегаты. Нами была разработана информационно-аналитическая система оценивания состояния оборудования в реальном времени.

По результатам системного анализа сложного технологического оборудования обоснована и реализована информационная технология динамического мониторинга, которая в отличие от существующих в производственных условиях интегративно учитывает сложное слабоформализуемое взаимодействие детерминированных и стохастических составляющих динамических процессов, обеспечивающих и сопутствующих формообразованию. Эта технология универсальна и применима к многосвязным, нестационарным, нелинейным динамическим структурам, которые характеризуют реальные динамические системы при резании для различного технологического металлорежущего оборудования и оборудования иного назначения.

**Бржозовский Борис Максевич** –

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования»  
Саратовского государственного технического университета

**Б.М. Бржозовский, О.В. Захаров, В.В. Горшков, М.Э. Автономов**

### **БЕСЦЕНТРОВОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ КРУГЛОСТИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

*Рассмотрены особенности бесцентрового измерения отклонения от круглости высокоточных деталей. На основе разработанной модели проведено исследование методической погрешности измерения и даны рекомендации по ее минимизации.*

**B.M. Brzhozovsky, O.V. Zakharov, V.V. Gorshkov, M.E. Avtonomov**

### **THE CENTERLESS MEASUREMENT OF ROUNDNESS DEVIATION OF PINPOINT ACCURACY DETAILS**

*Features of the centerless measurement of roundness deviation of pinpoint accuracy details are considered. On base designed models is organized research of the methodical error at measurement and recommendations on its minimization are given.*

Контроль отклонений формы деталей представляет собой сложную задачу ввиду различных требований к точности и возможностей измерительных приборов. При измерении отклонений формы тел вращения в поперечном сечении используют комплексный критерий – отклонение от круглости, показывающий, насколько проверяемый профиль отличается от идеальной базовой окружности. В качестве базовой окружности, как правило, применяют среднюю окружность профиля.

Известно множество способов измерения и соответствующих им приборов, каждый из которых имеет свою рациональную область применения [1]. Бесцентровое измерение с помощью различных конструкций призм с датчиками малых линейных перемещений эффективно в условиях массового производства из-за компактности приборов и простоты их эксплуатации. Однако данный метод имеет значительную погрешность измерения, достигающую, по различным оценкам, 100% [1-3]. Поэтому актуальными задачами становятся создание математической модели бесцентрового измерения, определение допустимых погрешностей измерения и разработка методики минимизации данной погрешности.

Особенность бесцентрового измерения состоит в том, что показания прибора  $\Delta_n$  связаны со значением фактического отклонения от круглости  $\Delta$  уравнением

$$\Delta_n = \mu \Delta,$$

где  $\mu = f(\alpha, \beta, n)$  – коэффициент пропорциональности (коэффициент воспроизведения);  $\alpha$  – угол призмы;  $\beta$  – угол, определяющий положение датчика от биссектрисы угла призмы;  $n$  – номер гармоники (рис. 1).

Конкретный прибор с фиксированными значениями углов  $\alpha$  и  $\beta$  имеет различные коэффициенты воспроизведения для разных гармонических составляющих отклонения формы профиля детали. Поскольку профиль детали описывается суммой гармоник с различными амплитудами и начальными фазами, то установление коэффициента  $\mu$  – сложная математическая задача. Это объясняется тем, что в процессе измерения деталь базируется по плоскостям призмы непосредственно измеряемой поверхностью. Погрешность установки приводит к изменению положения центра профиля (оси) детали и соответственно расстояния до измерительного датчика. Эти изменения прибор воспринимает так же, как и отклонения формы поверхности детали.

Аналитическое описание процесса измерения разложим на три этапа: нахождение центра средней окружности профиля после установки, определение радиусов измеренных датчиком точек профиля, расчет отклонения от круглости.

Поперечный профиль детали в полярной системе координат задан выражением [4]:

$$r = R + \sum_{n=2}^p a_n \cos(n\varphi - \varphi_n), \quad (1)$$

где  $R$  – радиус средней окружности;  $a_n, \varphi_n$  – амплитуда и начальная фаза  $n$ -й гармоники;  $p$  – наибольшее число гармоник;  $\varphi$  – полярный угол.

Погрешность установки представляет собой отклонение фактически достигнутого положения детали от положения номинально цилиндрической детали радиуса  $R$ . При этом в поперечном сечении детали требуемое положение ее центра (точка  $O$ ) определено радиусом  $R$  и углом призмы  $\alpha$ .

Уравнение прямолинейной грани призмы в полярной системе координат:

$$r_2 = R / \cos(\lambda - \varphi), \quad (2)$$

где  $\lambda$  – угол, задающий перпендикуляр к опоре.

Точками контакта детали с гранями призмы будут те точки на профиле, которые наиболее близко расположены к плоскостям призмы. Установим зазор между гранью и деталью в исходном положении через величину  $\Delta'$  и полярный угол  $\gamma$ :

$$\Delta' = \{r - r_2\} \rightarrow \max. \quad (3)$$

Считаем, что деталь одновременно и постоянно находится в точечном контакте с обеими гранями призмы. Поэтому отклонения формы в точках контакта стремятся сместить деталь по направлениям углов  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ , фактическое же смещение происходит вдоль граней призмы. Таким образом, деталь последовательно перемещается по граням призмы на величины  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ , которые представляют собой проекции  $\Delta'_1$  и  $\Delta'_2$ :

$$\begin{cases} \Delta_1 = \Delta'_1 [\sin(\gamma_1 + \alpha/2) + \cos(\gamma_1 + \alpha/2) \operatorname{ctg} \alpha]; \\ \Delta_2 = \Delta'_2 [\sin(\gamma_2 + \alpha/2) + \cos(\gamma_2 + \alpha/2) \operatorname{ctg} \alpha]. \end{cases} \quad (4)$$

Положение центра  $O_1$  детали после установки найдем векторным сложением смещений  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ :

$$\left. \begin{aligned} \Delta &= \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 - 2\Delta_1\Delta_2 \cos \alpha}; \\ v &= \operatorname{arctg} [(\Delta_1 + \Delta_2) \operatorname{tg} \alpha / 2(\Delta_1 - \Delta_2)]. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

На втором этапе определим радиус  $r_1$  измеренных точек профиля детали после базирования. Исходными данными являются координаты  $(\Delta, v)$  центра средней окружности профиля и радиусы  $r$  точек профиля детали. Установление аналитической зависимости между радиус-векторами  $r_1$  и  $r$  приводит к трансцендентному уравнению, точность решения которого непосредственно зависит от числа точек на профиле детали.

В таком случае целесообразно воспользоваться численным методом. Так как измерительный датчик перемещается только вдоль направления, заданного углом  $\beta$ , он регистрирует точку, наиболее близко расположенную к данной прямой. Поэтому задача сводится к поиску точки профиля, имеющей кратчайшее расстояние  $d$  до направления перемещения датчика:

$$d = |y_i - \operatorname{tg}(90^\circ - \beta)x_i| / \sqrt{1 + (\operatorname{tg}(90^\circ - \beta))^2} \rightarrow \min, \quad (6)$$

где  $(x_i, y_i)$  – декартовы координаты  $i$ -й точки профиля детали.

В результате расчетов по формулам (1)-(6) получаем измеренный профиль в декартовой системе координат. Сделав преобразования координат из декартовой в полярную систему, получим искомую круглограмму.

На третьем этапе определяют отклонение от круглости – максимальное расстояние от точек профиля до средней окружности. Если центр средней окружности круглограммы совпадает с началом системы координат, то отклонение от круглости есть разность максимального и минимального радиусов. В противном случае требуется дополнительно определить параметры средней окружности, а уже затем отклонение от круглости [4].

Изложенная методика для расчета бесцентрового измерения отклонения от круглости реализована в виде программы на языке C++. Интерфейс программы показан на рис. 2.

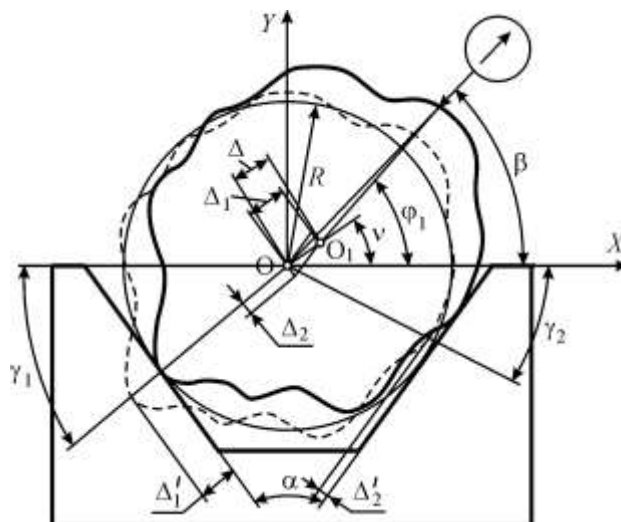


Рис. 1. Расчетная схема бесцентрового измерения

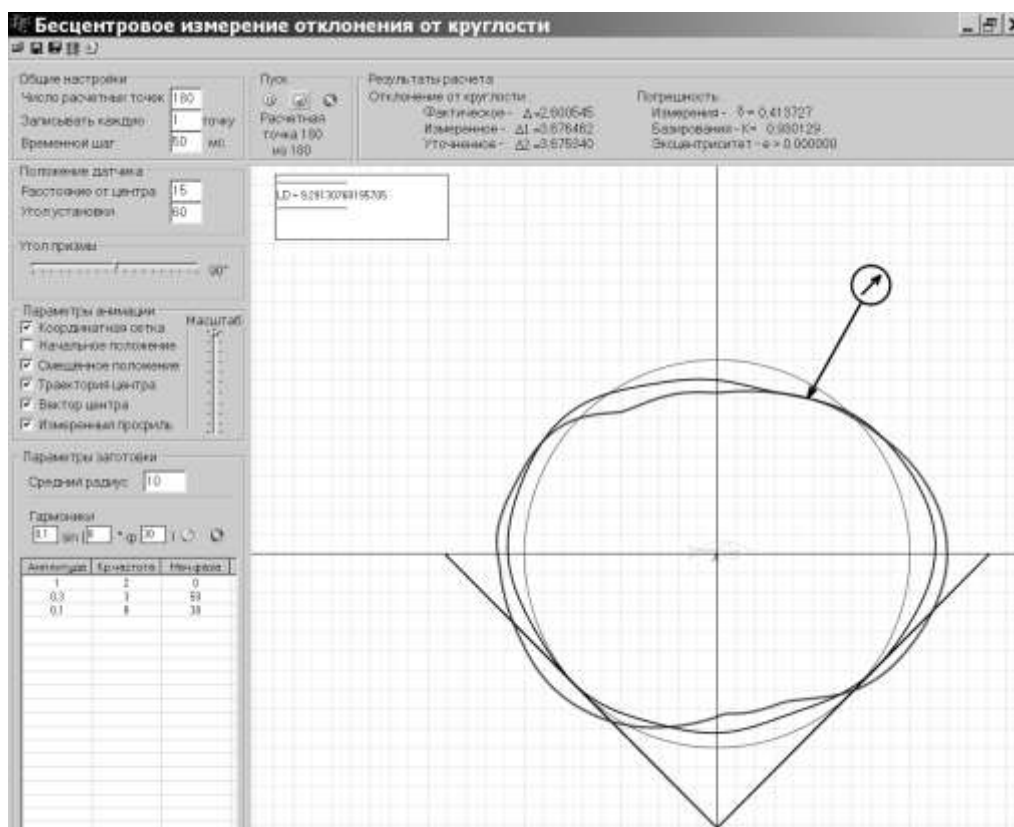


Рис. 2. Интерфейс программы бесцентрового измерения

Проведено сравнение результатов расчета по разработанной математической модели с данными, приведенными в работе [2]. Анализ показал, что расхождение результатов в среднем составляет 5%. Сделан вывод, что погрешность модели [2] объясняется допущением, что точки контакта детали с плоскостями призмы всегда находятся на перпендикулярах к соответствующим граням призмы, проведенным через центр средней окружности профиля в исходном положении. Такая постановка задачи позволила получить формулы для коэффициента воспроизведения в явном виде, но без учета влияния радиуса средней окружности измеряемой детали.

Для контроля партии колец подшипников на ОАО «Саратовский подшипниковый завод» проведен поиск оптимальной наладки призмы. Рассмотрены углы призмы 60 и 90° при различных положениях датчика. Исходными данными служили результаты измерения кольца подшипника  $\varnothing 30$  на кругломере *Talyrond 73*. Проведено статистическое моделирование, по результатам которого получены точечные и интервальные оценки относительной погрешности измерения. В частности, установлено, что амплитуды гармоник распределены по закону Пирсона первого типа, а начальные фазы – по закону равных вероятностей.

Статистическая обработка моделирования показала, что относительная погрешность измерения описывается нормальным или логнормальным законами с двумя параметрами – математическим ожиданием  $m$  и среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ . Логнормальный закон получается при учете корреляции между амплитудами отдельных гармоник или групп гармоник. Минимальная погрешность измерения соответствует углу призмы  $\alpha = 90^\circ$  и нулевому положению датчика. Среднеарифметическое относительной погрешности составило  $m = 30,88\%$ , а среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 22,64\%$ . При  $\alpha = 90^\circ$  и  $\beta = 15^\circ$  получено  $m = 60,18\%$  и  $\sigma = 24,57\%$ . Таким образом, удается примерно в два раза уменьшить относительную погрешность измерения, хотя при этом среднеквадратическое отклонение не является минимальным.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что оптимальная наладка призм с датчиками малых линейных перемещений позволяет в частных случаях существенно уменьшить погрешность измерения. Предварительный анализ гармонического состава погрешностей формы на ос-

нове эталонного измерения на прецизионном кругломере и статистическое моделирование по разработанной модели дают интервальную оценку погрешности измерения. Использование такого подхода рационально в массовом производстве при контроле больших партий деталей в цеховых условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авдулов А.Н. Контроль и оценка круглости деталей машин / А.Н. Авдулов. М.: Изд-во стандартов, 1974. 176 с.
2. Wiemer A. Das messen von unrunder / A. Wiemer, R. Pich, R. Lehmann // Feinggeratetechnik. 1955. S. 108.
3. Палей М.А. О возможностях седлообразных приборов при контроле диаметров и отклонений формы / М.А. Палей, В.А. Чудов // Измерительная техника. 1972. № 4. С. 20-21.
4. Захаров О.В. Методические основы гармонического анализа круглограмм / О.В. Захаров, В.В. Погораздов, А.В. Кочетков // Метрология. 2004. № 6. С. 3-10.

**Бржозовский Борис Максевич –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Конструирование и компьютерное моделирование  
технологического оборудования в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Захаров Олег Владимирович –**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и компьютерное  
моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Горшков Виктор Валерьевич –**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и компьютерное  
моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Автономов Михаил Эдуардович –**

студент Саратовского государственного технического университета

УДК 681.3

**Б.М. Бржозовский, М. Ю. Захарченко, Ю.Ф. Захарченко**

**МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ  
ПО ПРОХОЖДЕНИЮ ЗВУКОВЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ СТРУЮ ЖИДКОСТИ**

*Решается задача по прохождению звуковых волн через струю жидкости. С этой целью гидравлический канал, включающий струю жидкости, математически моделируется с помощью матрицы передачи цепочки цилиндрических звуковых волноводов с мягкой и жесткой боковой стенкой.*

**B.M. Brzhozovsky, M.Yu. Zakharchenko, Yu.F. Zakharchenko**

**METHODS DECISION NO-STATIONARY HYDRO-DINAMIC PROBLEM  
ON PASS SOUND-WAVE THROUGH STREAM LIQUID**

*We solve the problem by passing sound waves through the jet fluid. With this goal pour hydraulic canal, including the jet fluid, mathematically modeled using a matrix transfer chain of cylindrical acoustic waveguides with soft and rigid side wall of the coy.*

**1. Модель потока жидкости в виде акустического резонатора.** Для решения гидродинамической задачи по прохождению звуковых волн через струю жидкости используем модель цилиндрического потока идеальной жидкости с поперечным сечением, изображенным на рис. 1. В данной модели звуковые волны возбуждаются на участке 1 торцевой поверхности 2 подводющего канала, а затем распространяются через рупорообразный канал выходного сопла 4 и струю жидкости 5 до поверхности 6. Отражаясь от нее, звуковые волны распространяются в обратном направлении до поверхности 2. В этом случае поток жидкости образует акустический резонатор в виде нерегулярного вдоль оси цилиндрического волновода с изменяющимися граничными условиями на боковой поверхности. На концах волновод замкнут плоскими поверхностями. Поверхность волновода, образуемая стенками подводющего канала 2 и 3, сопла 4 и поверхностью 6, соответствует «жесткой» границе, на которой переменная скорость в звуковой волне равна нулю, а поверхность волновода, образуемая поверхностью струи 5, соответствует «мягкой» границе, на которой переменное давление в звуковой волне равно нулю.

Для определения волновых параметров акустического резонатора необходимо решить акустическое волновое уравнение с учетом криволинейной геометрии продольного сечения резонатора и чередования граничных условий первого и второго рода на его стенках. Обычно для этого требуется применение трудоемких численных сеточных методов. Но методику численного расчета можно существенно упростить, если описание волновых процессов провести в рамках матричного подхода. С этой целью поток жидкости вдоль оси акустического волновода разбивается на акустические ячейки в виде отрезков цилиндрического звукового волновода диаметром  $d_{c(n)}$  и длиной  $h_{c(n)}$ . На его поверхности задаются граничные условия первого и второго рода в соответствии с исследуемой моделью (рис. 1). В этом случае ячейки с «жесткими» боковыми стенками располагаются вдоль оси подводющего канала и сопла, а ячейки с «мягкими» боковыми стенками располагаются вдоль оси струи жидкости.

В пределах каждой  $n$ -й ячейки акустическое волновое уравнение решается аналитически, если ввести потенциал скорости  $\Phi(r, z)$ . Тогда решение можно представить в виде системы уравнений, задающих потенциал скорости  $\Phi_{b(n)}(r, z)$  на верхнем торце ячейки через потенциал скорости  $\Phi_{e(n)}(r, z)$  на ее нижнем торце [1]. В зависимости от типа граничных условий на поверхности волновода ячейки функции  $\Phi_{b(n)}(r, z)$  и  $\Phi_{e(n)}(r, z)$  представляются в форме разложения по ортогональным функциям: по радиусу волновода  $r$  в виде ряда по функциям Бесселя  $J_0(2\chi_{n,m} r/d_n)$  или  $J_1(2\chi_{n,m} r/d_n)$ , а вдоль оси волновода ячейки (по координате  $z$ ) в виде суммы функций  $\exp(\pm\beta_{n,m} z)$  ( $\chi_{n,m}$  – корни уравнений  $J_0(\chi_{n,m}) = 0$  или  $J_1(\chi_{n,m}) = 0$ ).

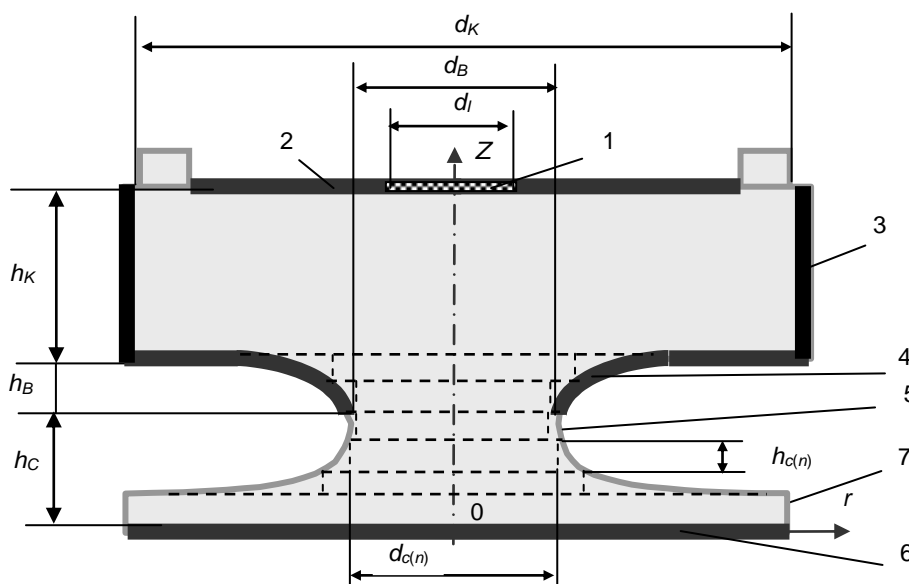


Рис. 1. Нестационарная гидродинамическая модель потока жидкости, где: 1 – «жесткая» излучающая поверхность; 2 – «жесткая» торцевая поверхность; 3 – «жесткая» цилиндрическая поверхность (проницаемая для жидкости) подводющего канала; 4 – «жесткая» цилиндрическая поверхность (криволинейная вдоль оси) выходного сопла; 5 – «мягкая» поверхность струи жидкости; 6 – «жесткая» поверхность (торцевая) плоскости, по которой растекается жидкость; 7 – «поглощающая» цилиндрическая поверхность (условная), ограничивающая пределы распространения звуковых волн. Линиями - - - обозначены границы разбиения потока жидкости на отрезки цилиндрического акустического волновода, образующие акустические ячейки

Для определения геометрических параметров ячеек и их числа требуется задание конфигурации поверхности канала сопла и свободной поверхности струи жидкости в аналитическом или табличном виде. Для этого можно использовать решение стационарной гидродинамической задачи с соответствующими граничными условиями. Для этого можно воспользоваться результатами работы [2].

**2. Матрица передачи акустической ячейки.** Колебательная скорость  $v = v_r \cdot r + v_z \cdot z$  в идеальной жидкости задается через потенциал  $\Phi$  скорости выражением

$$\tilde{v}_r = -\partial \tilde{\Phi} / \partial r, \quad \tilde{v}_z = -\partial \tilde{\Phi} / \partial z, \quad (1)$$

а колебательное давление  $p$  – выражением

$$\tilde{p} = j 2\pi \cdot \rho_{жс} \cdot f \cdot \tilde{\Phi}. \quad (2)$$

Волновое уравнение, записанное через  $\Phi$ , имеет вид

$$\frac{\partial^2 \tilde{\Phi}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \tilde{\Phi}}{\partial r} + \frac{\partial^2 \tilde{\Phi}}{\partial z^2} + k^2 \cdot \tilde{\Phi} = 0, \quad (3)$$

$$k = 2\pi \cdot f / c_{жс}. \quad (4)$$

Рассмотрим в качестве примера две цилиндрические акустические ячейки с «мягкими» стенками постоянного сечения, которые расположены последовательно вдоль оси  $z$  (рис. 2 а). Первая ячейка имеет радиус  $R_n$  и длину  $d_n$ , вторая ячейка –  $R_{n+1}$  и  $d_{n+1}$ . При этом  $R_n < R_{n+1}$ .

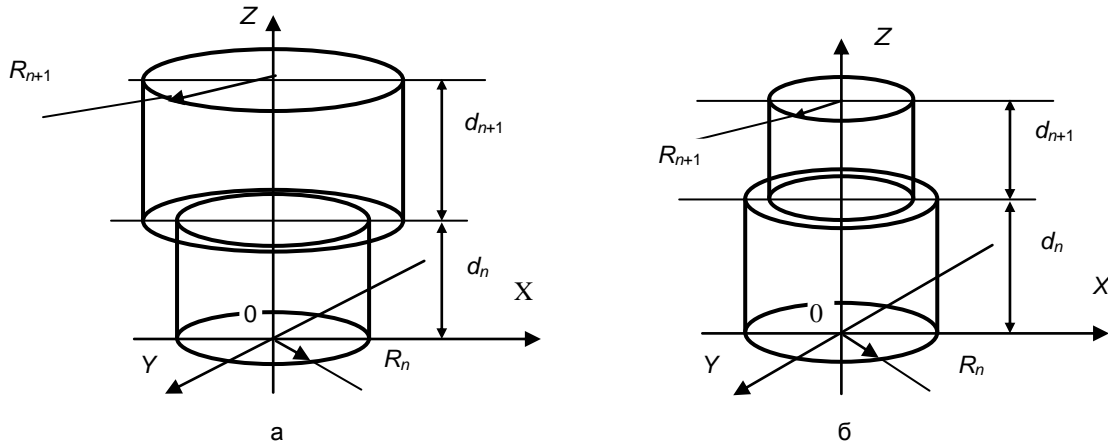


Рис. 2. Изображение двух типов акустических ячеек в виде цилиндрических волноводов с мягкими стенками. Первый волновод имеет радиус  $R_n$  и длину  $d_n$ , второй –  $R_{n+1}$  и  $d_{n+1}$

Граничные условия для решения  $\Phi(r, z)$  на мягкой стенке ячейки запишутся в виде

$$\tilde{\Phi} = 0 \quad \text{при } 0 \leq z \leq d_n, \quad r = R_n. \quad (5)$$

В пределах первой ячейки ( $0 < z < d_n$ ) решение  $\Phi(r, z)$  задается в виде

$$\tilde{\Phi}_n = \sum_{m=1}^{\infty} J_0 \left( \chi_{n,m} \cdot \frac{r}{R_n} \right) \cdot \left( \tilde{\Phi}_{n,m}^+ \cdot \exp(-\beta_{n,m} \cdot z) + \tilde{\Phi}_{n,m}^- \cdot \exp(\beta_{n,m} \cdot z) \right), \quad (6)$$

$$\beta_{n,m} = \sqrt{(\chi_{n,m}/R_n)^2 - k^2} = k \cdot \sqrt{(\chi_{n,m}/k \cdot R_n)^2 - 1}, \quad (7)$$

где  $\chi_{n,m}$  – корни уравнения  $J_0(\chi_{n,m}) = 0$ .

В пределах второй ячейки ( $0 < z < d_{n+1}$ ) решение  $\Phi(r, z)$  задается в виде

$$\tilde{\Phi}_{n+1} = \sum_{k=1}^{\infty} J_0 \left( \chi_{n+1,k} \cdot \frac{r}{R_{n+1}} \right) \cdot \left( \tilde{\Phi}_{n+1,k}^+ \cdot \exp(-\beta_{n+1,k} \cdot z') + \tilde{\Phi}_{n+1,k}^- \cdot \exp(\beta_{n+1,k} \cdot z') \right), \quad (8)$$

$$\frac{\partial \tilde{\Phi}_{n+1}}{\partial z} = \sum_{k=1}^{\infty} \beta_{n+1,k} \cdot J_0 \left( \chi_{n+1,k} \cdot \frac{r}{R_{n+1}} \right) \cdot \left( -\tilde{\Phi}_{n+1,k}^+ \cdot \exp(-\beta_{n+1,k} \cdot z') + \tilde{\Phi}_{n+1,k}^- \cdot \exp(\beta_{n+1,k} \cdot z') \right), \quad (9)$$

$$\beta_{n+1,k} = \sqrt{(\chi_{n+1,k}/R_{n+1})^2 - k^2}, \quad (10)$$

где  $\chi_{n+1,k}$  – корни уравнения  $J_0(\chi_{n+1,k}) = 0$ .

Для определения  $\tilde{\Phi}_{n+1,k}^+, \tilde{\Phi}_{n+1,k}^-$  через  $\tilde{\Phi}_{n,m}^+, \tilde{\Phi}_{n,m}^-$  используем условия вида

$$\sum_{k=1}^{\infty} J_0\left(\chi_{n+1,k} \frac{r}{R_{n+1}}\right) \cdot (\tilde{\Phi}_{n+1,k}^+ + \tilde{\Phi}_{n+1,k}^-) = \begin{cases} \sum_{m=1}^{\infty} J_0\left(\chi_{n,m} \frac{r}{R_n}\right) \cdot (\tilde{\Phi}_{n,m}^+ \cdot \exp(-\beta_{n,m} \cdot d_n) + \tilde{\Phi}_{n,m}^- \cdot \exp(\beta_{n,m} \cdot d_n)) & \text{при } 0 < r < R_n \\ 0 & \text{при } R_n < r < R_{n+1} \end{cases} \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \beta_{n+1,k} \cdot J_0\left(\chi_{n+1,k} \frac{r}{R_{n+1}}\right) \cdot (-\tilde{\Phi}_{n+1,k}^+ + \tilde{\Phi}_{n+1,k}^-) = \sum_{m=1}^{\infty} \beta_{n,m} \cdot J_0\left(\chi_{n,m} \frac{r}{R_n}\right) \cdot (-\tilde{\Phi}_{n,m}^+ \cdot \exp(-\beta_{n,m} \cdot d_n) + \tilde{\Phi}_{n,m}^- \cdot \exp(\beta_{n,m} \cdot d_n)) \quad \text{при } 0 < r < R_n \quad (12)$$

Выражение (11) умножим на  $r \cdot J_0(\chi_{n+1,k} r / R_{n+1})$  и интегрируем по  $r$  в пределах  $[0, R_{n+1}]$ , а выражение (12) умножим на  $r \cdot J_0(\chi_{n,p} r / R_n)$  и проинтегрируем по  $r$  в пределах  $[0, R_n]$ . Используя свойство ортогональности функций  $J_0(x)$ , имеем

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_{n+1,k} \cdot J_0\left(\chi_{n+1,k} \frac{R_n}{R_{n+1}}\right)}{\left(\frac{\chi_{n,p}}{R_n}\right)^2 - \left(\frac{\chi_{n+1,k}}{R_{n+1}}\right)^2} \cdot \tilde{\Phi}_{n+1,k}^+ = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\frac{\beta_{n+1,k}}{R_{n+1}^2} \cdot J_0^2\left(\chi_{n+1,k} \frac{R_n}{R_{n+1}}\right)}{\left(\frac{\chi_{n,p}}{R_n}\right)^2 - \left(\frac{\chi_{n+1,k}}{R_{n+1}}\right)^2} \cdot \frac{J_0^2\left(\chi_{n+1,k} \frac{R_n}{R_{n+1}}\right)}{J_1^2(\chi_{n+1,k})} \times \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\chi_{n,m} \cdot J_1(\chi_{n,m})}{\left(\frac{\chi_{n,m}}{R_n}\right)^2 - \left(\frac{\chi_{n+1,k}}{R_{n+1}}\right)^2} \cdot (\tilde{\Phi}_{n,m}^+ \cdot \exp(-\beta_{n,m} \cdot d_n) + \tilde{\Phi}_{n,m}^- \cdot \exp(\beta_{n,m} \cdot d_n)) - \quad (13)$$

$$- \frac{R_n^2}{4} \cdot \frac{\beta_{n,p}}{\chi_{n,p}} \cdot J_1(\chi_{n,m}) \cdot (-\tilde{\Phi}_{n,p}^+ \cdot \exp(-\beta_{n,p} \cdot d_n) + \tilde{\Phi}_{n,p}^- \cdot \exp(\beta_{n,p} \cdot d_n));$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_{n+1,k} \cdot J_0\left(\chi_{n+1,k} \frac{R_n}{R_{n+1}}\right)}{\left(\frac{\beta_{n,p}}{R_n}\right)^2 - \left(\frac{\chi_{n+1,k}}{R_{n+1}}\right)^2} \cdot \tilde{\Phi}_{n+1,k}^- = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\frac{\beta_{n+1,k}}{R_{n+1}^2} \cdot J_0^2\left(\chi_{n+1,k} \frac{R_n}{R_{n+1}}\right)}{\left(\frac{\chi_{n,p}}{R_n}\right)^2 - \left(\frac{\chi_{n+1,k}}{R_{n+1}}\right)^2} \cdot \frac{J_0^2\left(\chi_{n+1,k} \frac{R_n}{R_{n+1}}\right)}{J_1^2(\chi_{n+1,k})} \times \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\chi_{n,m} \cdot J_0(\chi_{n,m})}{\left(\frac{\chi_{n,m}}{R_n}\right)^2 - \left(\frac{\chi_{n+1,k}}{R_{n+1}}\right)^2} \cdot (\tilde{\Phi}_{n,m}^+ \cdot \exp(-\beta_{n,m} \cdot d_n) + \tilde{\Phi}_{n,m}^- \cdot \exp(\beta_{n,m} \cdot d_n)) - \quad (14)$$

$$+ \frac{R_n^2}{4} \cdot \frac{\beta_{n,p}}{\chi_{n,p}} \cdot J_1(\chi_{n,m}) \cdot (-\tilde{\Phi}_{n,p}^+ \cdot \exp(-\beta_{n,p} \cdot d_n) + \tilde{\Phi}_{n,p}^- \cdot \exp(\beta_{n,p} \cdot d_n)).$$

Поменяв порядок суммирования в правых частях полученных выражений, получим систему линейных уравнений, которая позволяет после проведения численного преобразования выразить коэффициенты  $\tilde{\Phi}_{n+1,k}^+, \tilde{\Phi}_{n+1,k}^-$  через коэффициенты  $\tilde{\Phi}_{n,p}^+, \tilde{\Phi}_{n,p}^-$ . Таким образом, матрица передачи данной акустической ячейки будет определена.

Аналогичные преобразования прделываются для акустической ячейки на рис. 2 б, выполненной в виде двух цилиндрических волноводов постоянного сечения с «мягкими» стенками, у которых  $R_n > R_{n+1}$  (рис. 2 б).

Для вариантов акустических ячеек, образуемых волноводами с «жесткими» боковыми стенками, прделываются аналогичные преобразования.

Таким путем определяется матрица передачи  $n$ -й ячейки для потенциала скорости, что позволяет вычислить матрицу передачи для всего акустического волновода, расположенного



между торцовыми плоскостями 2 и 6, как произведение матриц передачи составляющих ячеек. Используя граничные условия на торцовых плоскостях 1, 2 и 6, находится искомое решение нестационарной гидродинамической задачи для акустического резонатора.

С помощью предлагаемых методик для определения стационарных и нестационарных гидродинамических параметров потока идеальной жидкости можно описывать процессы формирования потока жидкости в виде струи, а также описать процессы дифракции и отражения звуковых волн от границы струи и стенок подводных каналов. Анализ этих процессов позволит исследовать основные закономерности возбуждения поперечных и продольных резонансов звуковых колебаний в акустическом резонаторе в виде нерегулярного вдоль оси цилиндрического волновода с изменяющимися граничными условиями на боковой поверхности в зависимости от геометрии потока жидкости и частоты колебаний. Данные методики расчета можно использовать для исследования параметров акустических приборов, в которых звуковой пучок распространяется через струю жидкости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скучик Е. Основы акустики: в 2 т. / Е. Скучик. М.: Мир, 1976.
2. Бржозовский Б.М. Решение стационарной гидродинамической задачи по прохождению звуковой волны через струю жидкости / Б.М. Бржозовский, М. Ю. Захарченко, Ю.Ф. Захарченко // Вестник СГТУ. 2009. № 3. Вып. 2. С.

**Бржозовский Борис Максевич** –

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Конструирование и компьютерное моделирование  
технологического оборудования в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Захарченко Михаил Юрьевич** –

аспирант кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование  
технологического оборудования в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Захарченко Юрий Федорович** –

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник  
Института радиотехники и электроники РАН

УДК 681.3

**Б.М. Бржозовский, М. Ю. Захарченко, Ю.Ф. Захарченко**

#### **РЕШЕНИЕ СТАЦИОНАРНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПО ПРОХОЖДЕНИЮ ЗВУКОВЫХ ВОЛН ЧЕРЕЗ СТРУЮ ЖИДКОСТИ**

*Анализ стационарных гидродинамических параметров плоскопараллельного потока идеальной жидкости в зависимости от геометрии подводных каналов, выходного сопла и струи.*

**B.M. Brzhozovsky, M.Yu. Zakharchenko, Yu.F. Zakharchenko**

#### **DECISION STATIONARY HYDRO-DINAMIC PROBLEM ON PASS SOUND-WAVE THROUGH STREAM LIQUID**

*Analysis of the hydrodynamic parameters of plane steady flow of ideal fluid, depending on the geometric data of connecting channels, the exit nozzle and the jet.*

В [1] предложено бесконтактное измерительное акустическое устройство, в котором звуковой пучок распространяется от источника-приемника звука до поверхности исследуемого объекта через струю жидкости. В этом случае эффективность передачи звуковых колебаний зависит от геометрии подводящих каналов, выходного сопла и струи жидкости. При этом их геометрия может быть как цилиндрической, так и плоскопараллельной. Для обоих случаев поперечное сечение потока жидкости представлено на рис. 1.

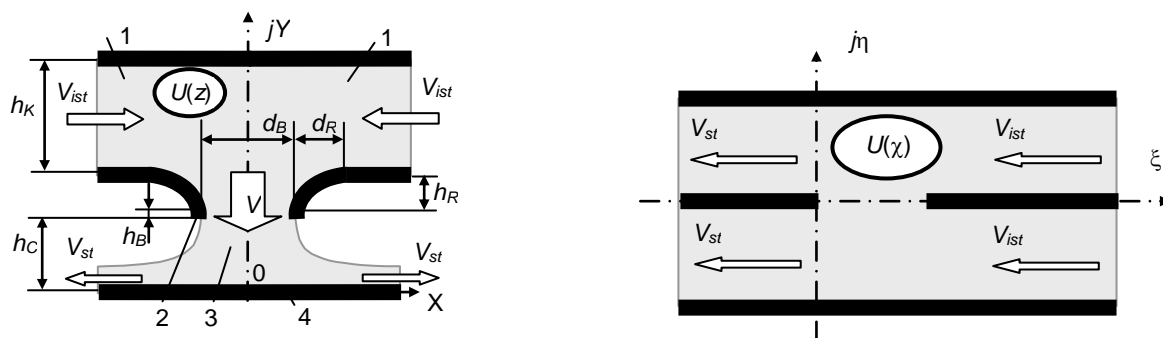


Рис. 1. Изображение комплексного потенциала  $U$  стационарного гидродинамического потока жидкости  $U$ : а –  $U(z)$  на плоскости  $z = x + jy$ , где 1 – подводящие каналы; 2 – выходное сопло; 3 – струя жидкости; 4 – плоскость, на которую падает струя; б –  $U(\chi)$  на плоскости  $\chi = \xi + j\eta$

**1. Математическая модель потока жидкости.** Для цилиндрической модели потока идеальной жидкости строгое решение стационарной гидродинамической задачи проводится с помощью трудоемких численных сеточных методов, например конечных элементов. В то же время результаты данного расчета для достаточно простых конфигураций цилиндрического потока, как в рассматриваемом случае, будут хорошо соответствовать результатам расчета для плоскопараллельного потока, имеющего аналогичную конфигурацию продольного сечения (например, ошибки при описании конфигурации поверхности струи в принципе должны составлять не более 10-20%) [2].

Для описания в рамках плоскопараллельной модели скорость и конфигурацию струи жидкости применим методику расчета, развитую в [3] на основе метода Жуковского – Мичелла. В этом случае для решения гидродинамических уравнений Эйлера используется теория конформных отображений комплексных аналитических функций. Для этого вводятся понятия о комплексном потенциале  $U(z) = \phi + j\psi$  и комплексно-сопряженной скорости  $\partial U/\partial z = V = x_x - jx_y$ , где  $x_x$  и  $x_y$  – составляющие скорости жидкости;  $U$  и  $V$  определяются в точках потока с пространственными координатами  $z = x + jy$ . Функции  $\phi$  и  $\psi$  – скалярный потенциал и ток скоростей соответственно – задаются выражениями  $x_x = \partial\phi/\partial x = -\partial\psi/\partial y$ ,  $x_y = \partial\phi/\partial y = \partial\psi/\partial x$  и удовлетворяют уравнению Лапласа и условиям Коши – Римана.

В методе Жуковского – Мичелла в качестве области  $U(z)$  рассматривается внутренняя область  $N$ -угольника с криволинейными и прямолинейными сторонами, а в качестве промежуточной области рассматривается полуплоскость  $\chi = \xi + j\eta$ , где  $-\infty < \xi < \infty$ ,  $0 \leq \eta$ . Конечной целью является построение функции  $z(\chi)$ . Для этого производная  $\partial z/\partial \chi$  представляется в виде

$$dz/d\chi = (dz/dU)(dU/d\chi) = \Phi(\chi) \cdot F(\chi). \quad (1)$$

Здесь функция  $F(\chi) = dU/d\chi$  реализует отображение  $U$  на область  $\chi$ . Границе  $U$  в виде сторон  $N$ -угольника соответствует ось  $\xi$ , на которой учитываются для свободных и жестких границ потока жидкости условия  $\partial\phi/\partial\eta = \partial\psi/\partial\xi = 0$ , а также располагают точки «источка» и «стока» потока. Для построения  $F(\chi)$  обычно используется формула Шварца – Кристоффеля [3].

Согласно [3], для потока жидкости на рис. 1 функция  $F(\chi)$  задается выражением

$$\frac{dU(\chi)}{d\chi} = F(\chi) = -C_U \cdot \frac{\chi}{(\chi^2 - a_{C0}^2)(\chi^2 - a_{K0}^2)}. \quad (2)$$

Построение  $\Phi(\chi)$  основывается на описании свойств функции  $1/V(z) = dz/dU$  на границе потока  $U$ . Так, если отрезок  $[\xi_{Am} \leq \xi \leq \xi_{Am+1}]$  соответствует жесткой поверхности, то вдоль него должно выполняться условие  $\text{Im } \Phi(\xi) = 0$ , а если отрезок  $[\xi_{Am+1} \leq \xi \leq \xi_{Am+2}]$  соответствует свободной поверх-

ности, то – условие  $\sqrt{(\operatorname{Re} \Phi(\xi))^2 + (\operatorname{Im} \Phi(\xi))^2} = \text{const}$ . Кроме того, в точках  $\xi_{An}$ , соответствующих острым углам границы потока  $U(z)$ , должно выполняться условие  $\Phi(\xi_{An}) = 0$ , а в точках  $\xi_{Am}$ , соответствующих тупым углам границы потока  $U(z)$ , – условие  $|\Phi(\xi_{Am})| = \infty$ .

Согласно [3], для потока жидкости на рис. 1 функция  $\Phi(\chi)$  задается выражением

$$\begin{aligned} \Phi(\chi) = \frac{1}{V(\chi)} = & \sqrt{a_{CB}^2 - a_{C0}^2} \cdot \left[ \frac{\chi^2 - a_{C0}^2 - a_{C0} + \sqrt{(\chi^2 - a_{C0}^2)(\chi^2 - a_{CB}^2)}}{\chi} \right] \times \\ & \times \left[ C_{\Phi 1} \cdot \frac{\sqrt{(\chi^2 - a_{B1}^2)}}{\sqrt{(a_{B1}^2 - a_{CB}^2)(\chi^2 - a_{C0}^2)} + \sqrt{(a_{B1}^2 - a_{C0}^2)(\chi^2 - a_{CB}^2)}} + \right. \\ & \left. + C_{\Phi 2} \cdot \frac{\sqrt{(\chi^2 - a_{B2}^2)}}{\sqrt{(a_{B2}^2 - a_{CB}^2)(\chi^2 - a_{C0}^2)} + \sqrt{(a_{B2}^2 - a_{C0}^2)(\chi^2 - a_{CB}^2)}} \right], \end{aligned} \quad (3)$$

где  $a_{C0} = 1 + a_{C0}$ . Параметры  $C_U, C_{\Phi 1}, C_{\Phi 2}, a_{C0}, a_{B1}, a_{B2}, a_{K0}$  – неизвестные величины, которые определяются путем численного интегрирования (1) с использованием геометрических данных  $h_K, h_C, d_B, h_B, d_R, h_R$  (см. рис. 1). Имеем

$$\begin{aligned} d_B = & 2 \left[ \int_0^{a_{C0}(1-\sigma c)} \operatorname{Re} \frac{dz(\xi)}{d\chi} \cdot d\xi + \int_{a_{C0}(1+\sigma c)}^{a_{CB}} \operatorname{Re} \frac{dz(\xi)}{d\chi} \cdot d\xi \right], \\ h_K = & \lim_{R \rightarrow 0} \int_{\pi}^0 \frac{dz(\xi = a_{K0} + R \cdot \exp(j\varphi))}{d\chi} \cdot R \cdot \exp(j\varphi) \cdot d\varphi, \\ h_C = & \lim_{R \rightarrow 0} \int_{\pi}^0 \frac{dz(\xi = a_{C0} + R \cdot \exp(j\varphi))}{d\chi} \cdot R \cdot \exp(j\varphi) \cdot d\varphi + \int_{a_{C0}(1+\sigma c)}^{a_{CB}} \operatorname{Im} \frac{dz(\xi)}{d\chi} \cdot d\xi, \\ h_B = & \int_{a_{CB}}^{a_{B1}} \operatorname{Im} \frac{dz(\xi)}{d\chi} \cdot d\xi, \quad d_R = \int_{a_{B1}}^{a_{B2}} \operatorname{Re} \frac{dz(\xi)}{d\chi} \cdot d\xi, \quad h_R = \int_{a_{B1}}^{a_{B2}} \operatorname{Im} \frac{dz(\xi)}{d\chi} \cdot d\xi, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $y_c \ll a_{C0}$ .

**2. Результаты расчета.** Результаты расчета, приведенные на рис. 2-4, демонстрируют влияние геометрии подводящих каналов и выходного сопла на конфигурацию поверхности струи. На рис. 2 а, б демонстрируется случай, когда выходное сопло, имеющее только прямолинейный участок поверхности, сопрягается с поверхностью подводящих каналов под прямым углом. Тогда на ребре стыка этих поверхностей скорость  $V$  жидкости стремится к бесконечности (см. рис. 6, график 1). При этом в потоке жидкости может наблюдаться неустойчивость течения, приводящая к тому, что струя сходится к ребра стыка, а не с края канала выходного сопла, причем струя соскальзывает по касательной к поверхности подводящих каналов (сравним на рис. 2 а, б кривые 1 и 2). Это приводит к тому, что поперечное сечение струи жидкости сначала сужается вдоль направления движения потока (вдоль вертикальной оси  $y$ ), а затем расширяется по мере приближения к поверхности, на которой струя растекается.

Данный характер движения жидкости в струе в целом не зависит от ее длины (сравним кривые 1 на рис. 2 а и рис. 2 б). Но с увеличением  $h_C/d_B$  величина  $d_{C\min}/d_B$  стремится предельному значению, не превышающему 0,6 (сравним на рис. 3 кривые 1-4 в точке  $h_B/d_B = 0$ ). Аналогичная картина наблюдается для зависимости  $h_{C\min}/h_C$  от  $h_C/d_B$ . Здесь введены обозначения:  $d_{C\min}$  – поперечный размер струи в минимуме сужения,  $h_{C\min}$  – длина струи до минимума сужения,  $h_B$  – прямолинейный участок канала выходного сопла. Из рис. 3 а также следует, что с увеличением  $h_B/d_B$  сужение струи исчезает ( $d_{C\min}/d_B \rightarrow 1,0$ ).

Избежать срыва струи с ребра стыка подводящих каналов с каналом выходного сопла можно за счет наличия в канале выходного сопла криволинейного участка поверхности, т.е. выполнив его в виде рупора, сужающегося в направлении движения жидкости.

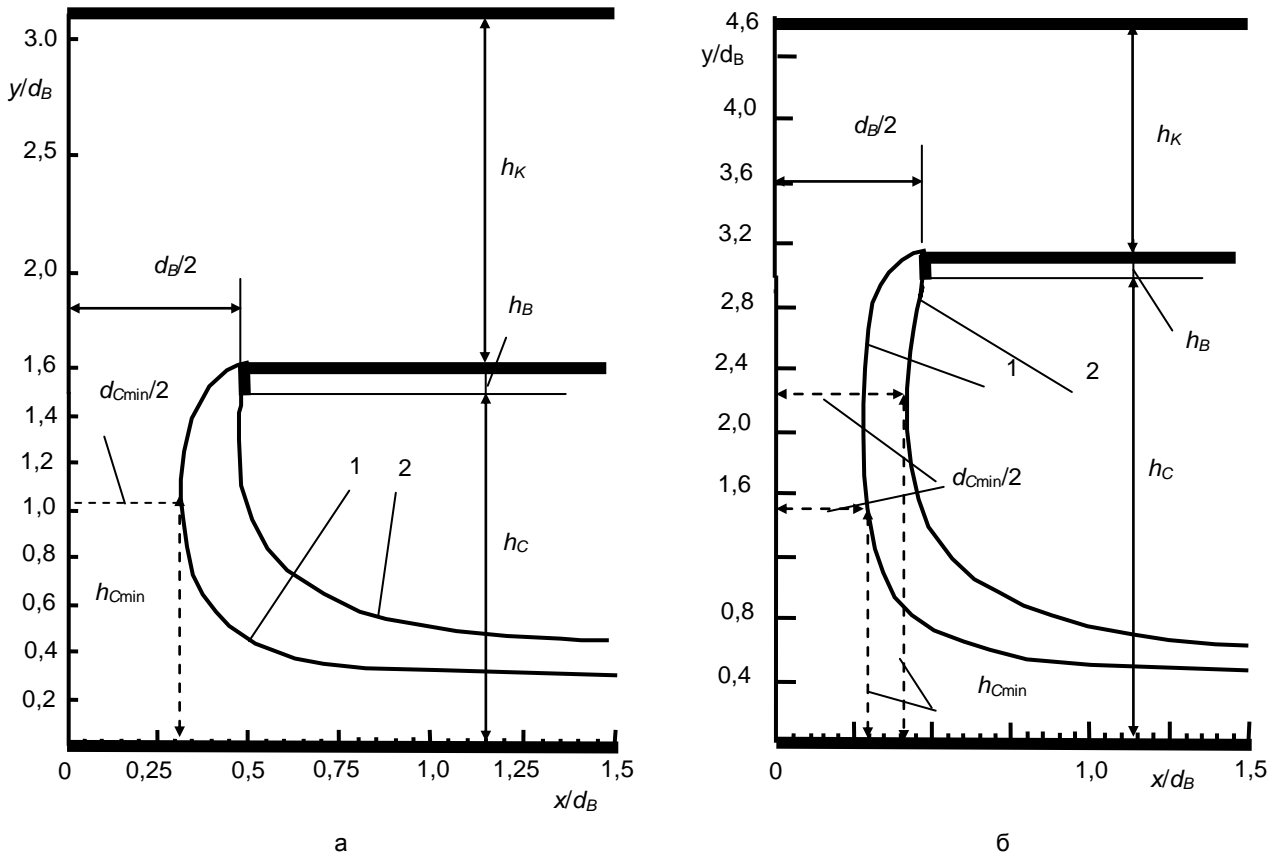


Рис. 2. Графики зависимости  $y/d_B$  от  $x/d_B$ , описывающие границу потока жидкости вдоль поверхности подводящего канала, выходного сопла и струи жидкости при  $h_k/d_B = 1,5$ , для случая (а):  $h_k/d_B = 1,5$ ,  $h_B/d_B = 0,1$  (1),  $h_B/d_B = 0$  (2), где  $d_{Cmin}/d_B = 0,64$ ,  $h_{Cmin}/h_C = 0,67$  и для случая (б):  $h_k/d_B = 3,0$ ,  $h_B/d_B = 0,1$  (1),  $h_B/d_B = 0$  (2), где  $d_{Cmin}/d_B = 0,6$ ,  $h_{Cmin}/h_C = 0,58$

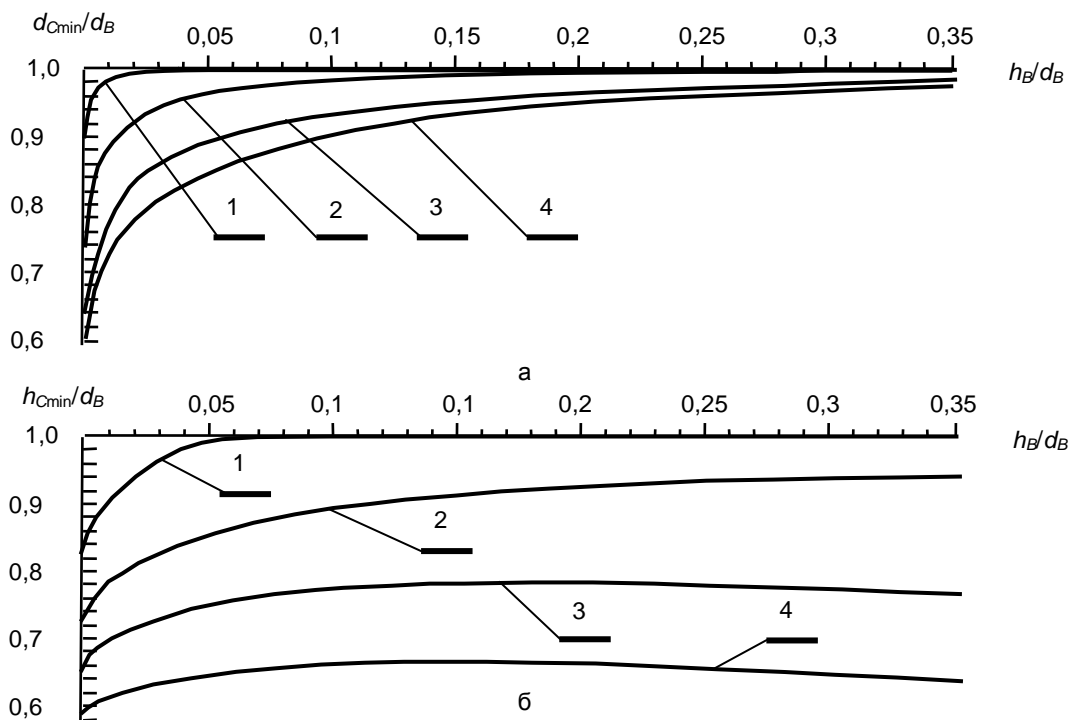


Рис. 3. Графики зависимостей  $d_{Cmin}/d_B$  от  $h_B/d_B$  (а) и  $h_{Cmin}/h_C$  от  $h_B/d_B$  (б) для  $h_k/d_B = 1,5$  при  $h_C/d_B = 0,5$  (1),  $h_C/d_B = 1,0$  (2),  $h_C/d_B = 1,5$  (3),  $h_C/d_B = 2,5$  (4)

В рамках модели плоскопараллельного потока идеальной жидкости показано, что, во-первых, для обеспечения ламинарного течения потока жидкости, как в струе, так и в подводных каналах необходимо, чтобы канал выходного сопла был выполнен в виде сужающегося рупора с радиусом кривизны поверхности, превышающим, по крайней мере, поперечный размер выходного отверстия. Во-вторых, в случае, когда выходной канал имеет вид сужающегося рупора с радиусом кривизны поверхности, превышающим поперечный размер выходного отверстия, струя жидкости тоже имеет вид «рупора с мягкими стенками», у которого поперечный размер на большей части длины остается постоянным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. РФ № 2007135888. Устройство бесконтактного высокоточного измерения физико-технических параметров объекта / Б.М. Бржозовский, Д.В. Грачев, Ю.Ю. Елисеев, М.Ю. Захарченко, Ю.Ф. Захарченко. Приоритет 24.09. 2007.
2. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости / М.И. Гуревич. М.: Наука, 1979. 588 с.
3. Бржозовский Б.М. Метод решения стационарной гидродинамической задачи / Б.М. Бржозовский, М.Ю. Захарченко // Вестник СГТУ. Саратов: СГТУ, 2009. С. 121-126.

**Бржозовский Борис Максевич** –

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Конструирование и компьютерное моделирование  
технологического оборудования в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Захарченко Михаил Юрьевич** –

аспирант кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование  
технологического оборудования в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Захарченко Юрий Федорович** –

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник  
Института радиотехники и электроники РАН

УДК 621.9.025.01

**Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов, Е.П. Зинина**

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА  
С НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ**

*Представлены материалы исследований по разработке технологии и оборудования для упрочнения режущего инструмента в низкотемпературной плазме комбинированного разряда.*

**B.M. Brzhozovsky, V.V. Martynov, E.P. Zinina**

**TECHNOLOGY AND THE EQUIPMENT OF CUTTING TOOLS RECEPTION  
WITH NANOSTRUCTURED CUTTING EDGE SURFACE**

*Materials of researches on working out of technology and the equipment for hardening of the cutting tool in low-temperature plasma with the combined discharge are presented.*

Повышение эффективности механической обработки с сохранением требуемого качества может быть обеспечено только использованием режущего инструмента с гарантированными эксплуатационными свойствами. Это особенно важно при решении задач инструментального обеспечения автоматизированного станочного оборудования, в том числе мелкогабаритным режущим инструментом, и делает актуальным поиск новых технологических методов повышения его работоспособности. Одним из направлений этого поиска является разработка методов поверхностного упрочнения инструмента путем нанесения износостойких покрытий или физико-химического модифицирования поверхностного слоя, направленных на повышение твердости и износостойкости. Однако многие из этих методов имеют недостатки по производительности процесса упрочнения, либо ограничения экономического характера.

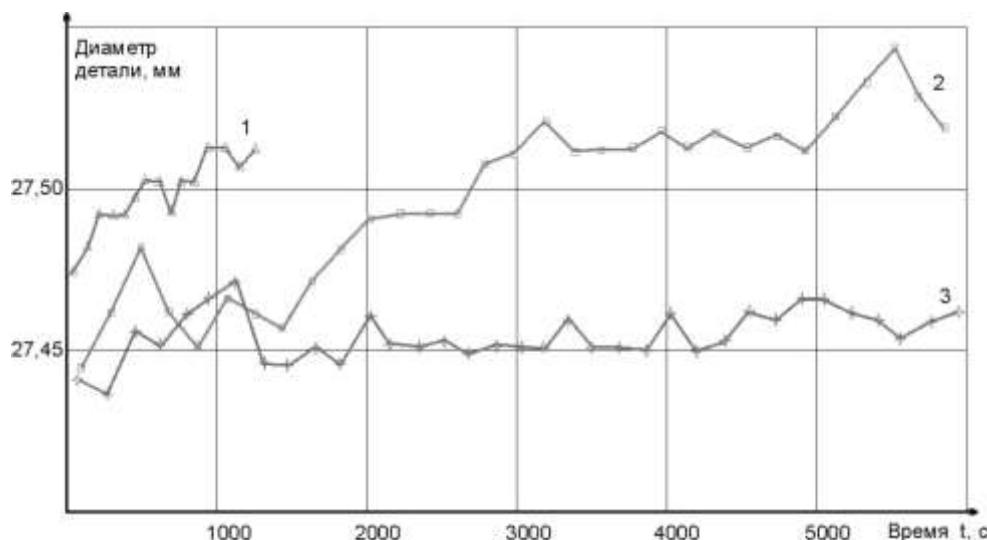
Наиболее перспективными методами упрочнения являются методы, основанные на применении концентрированных потоков энергий. Плазменное, электронное, ионное, лазерное упрочнение в разных средах позволяет формировать на поверхности режущего инструмента тонкие износостойкие модифицированные слои. Актуальность исследований в этом направлении обусловлена сложностью и недостаточной изученностью механизмов и эффектов, сопровождающих процессы упрочнения поверхностных слоев изделий с заранее заданными свойствами в условиях высоких скоростей энергетического воздействия.

Авторами разработаны перспективный метод высокоэффективного экономичного упрочнения режущего инструмента на основе воздействия низкотемпературной плазмы комбинированного разряда на поверхность мелкогабаритного инструмента. Разработаны технологическое оборудование и технология упрочнения режущего инструмента в низкотемпературной плазме комбинированного разряда.

Основными элементами конструкции оборудования являются камера обработки, генератор СВЧ-энергии, блок питания генератора СВЧ-энергии, блок подачи потенциала на инструмент, система газонапуска, вакуумная система. Технологический газ – азот. Потребляемая мощность не превышает 2 кВт. Особенность оборудования состоит в реализации в его конструкции возможностей плавного изменения подводимой СВЧ-мощности или напряженности электромагнитного поля, величины положительного потенциала смещения и рабочего давления, что обеспечивает управление энергией заряженных частиц в скомпенсированном потоке плазмы и, как следствие, воспроизводимость результатов обработки поверхности режущего инструмента.

При создании технологии упрочнения решен комплекс вопросов, связанных с поиском оптимальных значений параметров режима обработки. Полученная по результатам исследований процессов упрочнения сверл и метчиков номограмма позволяет перейти от традиционного способа задания параметров для диапазонов значений какого-либо геометрического параметра инструмента к их заданию для любого значения этого параметра внутри любого диапазона, входящего в размерный ряд (0,6...12,0 мм), причем заданными становятся не только входные (подводимая СВЧ-мощность, потенциал смещения, температура обработки), но и выходные (ток смещения и время обработки) параметры, по которым можно осуществлять оперативный контроль хода процесса упрочнения.

Создана физическая модель упрочнения режущего инструмента, основу которой составляет положение о том, что в результате формирования низкотемпературной плазмы комбинированного разряда пониженного давления при наложении электростатического поля на сверхвысокочастотное электромагнитное поле на малых уровнях СВЧ-мощности на обрабатываемую поверхность воздействуют направленные скомпенсированные потоки электронов и ионов. Изменения в приповерхностных слоях начинаются в тот момент, когда активные частицы плазмы, ускоряясь, приобретают энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера кристаллической решетки. Высокоэнергетичные ионы внедряются в кристаллическую решетку и передают ей и атомам внедрения свою энергию. Ускоренному внедрению и движению ионов способствуют потоки электронов плазмы («электронный ветер»), что сопровождается усиленными процессами электропереноса. Воздействие энергетических частиц плазмы на поверхность режущих кромок инструмента вызывает оплавление и сглаживание их микронеровностей, в том числе заусенцев и острий. Частицы плазмы с энергией ниже энергии потенциального барьера оседают на поверхности с образованием плотноупакованной пленки. В результате комплексного воздействия плазмы происходит интенсивный разогрев поверхности и приповерхностных слоев. Последующее охлаждение в вакууме приводит к резкому охлаждению поверхности, что сопровождается измельчением структуры приповерхностных слоев с образованием мелкодисперсной фазы с размерами зерна порядка 20-50 нм на глубине до 20 мкм и формированием слоистой структуры толщиной 100-150 нм и шагом 300-400 нм на глубину до 4 мкм.



Совмещенная точностная диаграмма обработки деталей из стали ШХ-15 твердосплавными пластинами Т15К6 на исходной (1) и увеличенных после плазменной обработки с сошлифованным (2) и сохраненным (3) покрытием TiN подачах

Полученные результаты свидетельствуют о формировании элементов структуры с принципиально новыми свойствами, характерными для наноматериалов, содержащих структурные элементы, геометрические размеры которых хотя бы в одном измерении не превышают 100 нм и которые благодаря особым проявлениям физического и (или) химического взаимодействий обнаруживают усиление известных или возникновение ранее неизвестных свойств.

Апробация инструмента из стали Р6М5 и твердого сплава Т15К6, прошедшего плазменную обработку, в производственных условиях ФГУП «НПП «Контакт» (г. Саратов), ОАО «Саратовский подшипниковый завод», ЗАО «Контакт-Салют» (г. Саратов) при изготовлении деталей из сталей ШХ-15, 12Х18Н10Т, Ст.3, меди МОб позволила зафиксировать многократное (до 3-5 раз) увеличение его износостойкости. Кроме этого, в процессе резания проявилась повышенная адгезионная стойкость пленки TiN к материалу основы пластины после плазменной обработки, а также устойчивость режущей кромки в процессе резания: имеющиеся дефекты не вели к дальнейшему увеличению дефектности всей поверхности в процессе резания, появления новых дефектов в виде трещин, сколов, коробления зафиксировано не было. Однако для оптимальной работы инструмента требуется увеличение нормальной нагрузки на поверхность его режущей кромки за счет увеличения подачи. Практически это позволяет повысить не только размерную точность (рисунок), но и в 1,75-3 раза улучшить шероховатость поверхности изготовленных деталей, а также получить выигрыш машинного времени, означающий увеличение скорости обработки. По результатам, зафиксированным в процессе апробации инструмента, оно составляет 10-15%.

**Бржозовский Борис Максевич –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Конструирование и компьютерное  
моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Мартынов Владимир Васильевич –**

доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и компьютерное  
моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Зинина Елена Петровна –**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование  
технологического оборудования в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного технического университета

М.В. Виноградов

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИВодОВ ПОДАЧИ ПРЕЦИЗИОННЫХ СТАНКОВ

*Предлагается нетрадиционный способ организации прецизионных приводов современных станков для высокоточной обработки. При определенных условиях применение в приводах подачи фрикционных передач способствует реализации технических характеристик приводов, недостижимых при использовании других типов механических передач.*

M.V. Vinogradov

## PERFECTION OF DRIVES OF GIVING PRECISION MACHINE TOOLS

*The nonconventional way of the organisation of precision drives of modern machine tools for high-precision processing is offered. Under certain conditions application in drives of giving of friction gears promotes realisation of technical characteristics of the drives unattainable at use of other types of mechanical transfers.*

Приводы подач всех современных металлообрабатывающих станков с ЧПУ строятся по традиционной схеме. Часто перемещения рабочего органа осуществляются от двигателя постоянного тока через ременную передачу на ходовой винт. Через шариковую гайку вращение винта трансформируется в продольное перемещение рабочего органа (рис. 1).

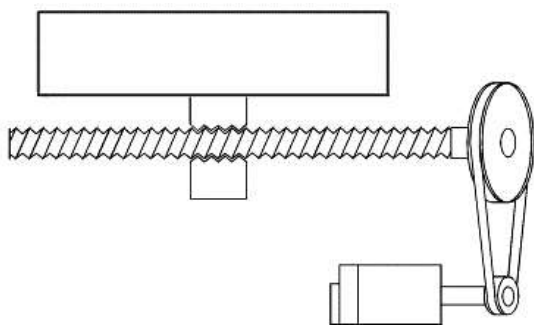


Рис. 1. Ременный привод с ШВП

Из теории механических колебаний [3] известно, что дифференциальное уравнение движения под действием произвольно заданной вынуждающей силы имеет вид:

$$a\ddot{q} + b\dot{q} + cq = F(t), \quad (1)$$

где  $q$  – обобщенная координата;  $a$  – инерционный коэффициент;  $b$  – обобщенный коэффициент трения;  $c$  – обобщенный коэффициент жесткости системы;  $F(t)$  – вынуждающая внешняя сила. За обобщенную координату ( $q$ ) примем линейное перемещение гайки. Для нахождения обобщенной массы системы найдем кинетическую энергию системы:

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \dot{q}_i^2 = \frac{1}{2} m_1 \dot{q}^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\phi}^2, \quad (2)$$

где  $m_1$  – масса гайки;  $I_2$  – момент инерции винта;  $\phi$  – угол поворота винта. Как известно, для винтовой передачи соотношение между углом поворота винта и осевым перемещением гайки имеет вид:

$$q = \phi \frac{P_g}{2\pi}, \quad (3)$$

где  $P_g$  – ход винта. Продифференцировав это выражение по времени, получим

$$\frac{dq}{dt} = \frac{d\phi}{dt} \cdot \frac{P_g}{2\pi}. \quad (4)$$

К недостаткам указанного привода можно отнести упругие деформации ременной передачи, износ сопрягаемых элементов в процессе эксплуатации и потеря исходной точности, погрешности в шаге ходового винта и накопленная погрешность по длине. В целях защиты от соударений один из шкивов ременного привода выполнен гладким. Достоинство схемы привода – возможность применения недорогих шаговых двигателей. При такой схеме без линеек определить текущее положение невозможно.



Основная причина возникновения мертвого хода – люфты в передаточном механизме. Ременный привод имеет больше люфтов, чем непосредственный привод.

Более надежные и современные приводы выполнены без ременной передачи. В этих приводах высокомоментный двигатель переменного тока непосредственно соединен с ходовым винтом (рис. 2).

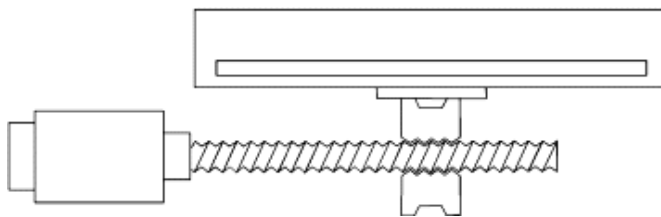


Рис. 2. Непосредственный привод

Основным недостатком такого привода является значительная инерционность, особенно в крупногабаритных станках. Кроме того, остались погрешности в шаге ходового винта и накопленная погрешность по длине. Поскольку эти недостатки определяют основные качественные характеристики приводов (точность и равномерность хода, величину мертвого хода при реверсе, допустимые ускорения и скорости рабочего органа), конструкторская мысль станкостроителей давно пытается как-то уменьшить их влияние на работу приводов и оборудования в целом. Например, в соединении ходового винта с гайкой уже

давно используют дорогое и сложное соединение с телами качения и специальные устройства натяга; ходовые винты особо точных станков изготавливают по классу эталонных; погрешности шага винтов пытаются скомпенсировать системами компенсаторов; в борьбе с температурными деформациями создаются изошрённые системы охлаждения и т.д. Некоторые проблемы приводов с ходовыми винтами предопределены их технической сущностью.

В последнее время появилась информация об использовании в качестве приводов подач станков линейных двигателей. Принцип линейного двигателя известен давно, поскольку его прототипом является простейшая электромагнитная система. Такая система состоит из металлического сердечника-магнита и статорной обмотки. При подаче тока определенной полярности в обмотку сердечник сместится в ту или иную сторону. Изменение полярности сигнала на обмотку приведет к обратному ходу сердечника.

От источника энергии к рабочему органу нет промежуточных элементов, передача энергии осуществляется через воздушный зазор. Однако возможность регулировать скорость рабочего органа и обеспечивать тем самым его регулируемое поступательное движение в электромагнитной системе пока остается проблематичной. Необходима оптическая или другая измерительная линейка с высоким разрешением (0,1 мкм и выше). Без нее система управления станка не может определить текущие координаты [3]. Недостатком такого привода является еще большая инерционность, чем у непосредственного привода.

В последнее время получили распространение специальные устройства, работающие при отсутствии зазоров и обеспечивающие исключительно высокую жесткость привода при использовании обычных электродвигателей – фрикционные передачи (ФП) (рис. 3). При использовании обычной кинематической цепи в приводе малых перемещений создается редукция, которая позволяет значительные угловые перемещения двигателя (задающего устройства) на заданную величину преобразовать в малое поступательное перемещение узла станка [1, 2].

Основные недостатки обычных зубчатых передач – неравномерность передаточного отношения и люфт – удалось преодолеть за счет использования гладких цилиндрических колес – роликов, вращающихся в опорах качения. Кинематическая пара ролик – шток обеспечивает преобразование вращательного движения в поступательное. Ролики прижимаются определенной силой для передачи вращающего момента. Оригинальная схема прижима самоустанавливающихся роликов исключает люфты и минимизирует потери на трение. Это обеспечивает высокий (выше, чем у ШВП) КПД. С валом двигателя соединен первый – самый маленький ролик передачи, сле-

Рис. 3. Схема фрикционной передачи

довательно, инерционность такого привода невысокая. Применение этих устройств позволяет во многих случаях обеспечить равномерность медленных движений даже при особо малых скоростях подачи и гарантирует точность перестановки, удовлетворяющую самым высоким требованиям, выдвигаемым практикой. Достоинство схемы привода – возможность применения недорогих шаговых двигателей. Одним из преимуществ использования шаговых двигателей в приводах подачи прецизионных станков является импульсный характер воздействия на механизм привода, что обеспечивает даже при очень малых подачах ее мгновенное значение выше критической скорости. Это обеспечивает управляемость малых перемещений, снижает вероятность хаотичных скачков. Ограниченный диапазон шаговых двигателей по мощности можно компенсировать за счет использования традиционных серводвигателей постоянного тока или асинхронных в режиме импульсного управления в комплекте с фрикционными передачами.

Эффективность применения новых приводов сразу же нашла убедительное подтверждение. Серия токарных станков ТПАРМ с ФП имела резко повышенные технико-технологические и эксплуатационные характеристики по сравнению с аналогичными станками, имеющими традиционные приводы. Повысилась точность станков, расширились диапазоны параметров обрабатываемых деталей и т.д. В настоящее время электроприводы с ФП используются в электроэрозионных станках нового поколения, разрабатываемых в НПК ПО, обеспечивая при этом высокое качество обработки при минимальном количестве проходов. Нижеследующая таблица позволяет сопоставить рассматриваемые приводы.

Сравнение приводов станков с традиционными и фрикционными передачами		
Характеристики	Традиционные передачи с ШВП	Приводы с ФП
Промежуточные элементы передачи к рабочему органу	Ротор, вал, шкив, ремень, шкив, винт, шарики, гайка	Ротор, ролики, шток
Потери на трение	Подшипники ротора, ременная передача, подшипники ходового винта, шарики, плоскости профиля канавки гайки	Подшипники ротора электродвигателя и роликов
Элементы с упругими деформациями	Вал ротора, ремень шкива, вал винта, плоскости профиля канавки винта, шарики, плоскости профиля канавки гайки	Вал ротора, ролики
Изнашиваемые элементы привода	Подшипники ротора электродвигателя, шкив, ремень, шкив, подшипники винта, ходовой винт, шарики, гайка	Подшипники ротора электродвигателя и роликов
Обязательные зоны для смазки	Подшипники ротора, подшипники винта, зона ШВП	Подшипники ротора электродвигателя и роликов

ФП имеют высокую технологичность, что позволяет изготовить их элементы (ролики) с высокими точностными показателями на универсальном оборудовании, просты в эксплуатации, доступны по цене.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатъев А.А. Привод подачи с многоступенчатой фрикционной передачей для прецизионного токарного ГПМ / А.А. Игнатъев, М.В. Виноградов, Е.А. Сигитов // СТИН. 2004. № 11. С. 7-12.
2. Виноградов М.В. Точность позиционирования рабочих органов прецизионных металлорежущих станков / М.В. Виноградов // Управляющие и вычислительные комплексы в машино- и приборостроении: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 1999. С. 13-18.
3. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний: учеб. пособие / Я.Г. Пановко. М.: Наука, 1980. 270 с.
4. [http://www.electroprivod.ru/linear\\_public.htm](http://www.electroprivod.ru/linear_public.htm)
5. [http://www.electroprivod.ru/shvp\\_dynamic.htm](http://www.electroprivod.ru/shvp_dynamic.htm)

**Виноградов Михаил Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и управление в машиностроении» Саратовского государственного технического университета

А.О. Головченко, А.Ю. Таныгин, В.И. Вигдорович

### ЗАЩИТНЫЕ СОСТАВЫ НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА, СОДЕРЖАЩЕГО В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ МИКРОРАЗМЕРНЫЕ ДОБАВКИ ЦИНКА И ГРАФИТА

*Изучена защитная эффективность цинконаполненных (40-60 масс.%) масляных покрытий, содержащих 0,01-1,00 масс.% микрографита при коррозии углеродистой стали Ст 3 в солевом растворе (3% NaCl) или термовлагокамере. В первом случае удается достичь величины Z порядка 86-88%, во втором – практически полностью прекратить коррозию стали.*

A.O. Golovchenko, A.Yu. Tanygin, V.I. Vigdorovich

### PROTECTIVE FORMULATIONS BASED ON RAPESEED OIL, WHICH CONTAINS ON INGREDIENT SUPPLEMENTS OF ZINC AND GRAPHITE

*The efficiency of zincfilled (40-60 mass % oily coverage, containing 0,01-1,00 mass % of micrographite during corrosion of carbon steel (St3) in salt solutions (3% NaCl) and thermohumidchamber. In the first case it was succeeded to get the quantity Z of nearly 86-88%. In the second case – practically to stop the steel corrosion.*

Цинконаполненные лакокрасочные материалы высокоэффективны при защите металлоизделий от коррозии в атмосферных условиях при их хранении на открытой площадке, под навесом, в неотопляемом помещении. Обычно с этой целью используют составы на базе товарных нефтяных масел, содержащих заводские антикоррозионные присадки. Наличие микроструктурированного цинка помимо ингибиторной защиты позволяет создать существенный протекторный эффект. Однако нефтяные масла достаточно дороги. Использование отработавшего масла снижает затраты и повышает защитную эффективность, рапсовое масло (РМ), содержащее природные ингибиторы коррозии – фосфолипиды, снижает комплекс экологических проблем. Помимо указанного, использование РМ представляет значительный интерес как быстро возобновляемое растительное сырье. Графит вводили с целью выяснения возможности снижения концентрации цинкового порошка в масле, которая в таких системах составляет до 95 масс.% и лишь в присутствии до 4 масс.% графита она была снижена до 60 масс.%. При этом  $C_{\text{графита}}$  составляло  $10^{-2} - 1,0$  масс.%. Исследования проведены с использованием образцов стали Ст3 следующего состава, масс.-%: С – 0,20; Мп – 0,15; Si – 0,15; Р – 0,04; S – 0,05; Cr – 0,30; Ni – 0,20; Cu – 0,20; Fe – остальное размером  $60 \times 30 \times 3$  мм. Порошок графита с частицами размером 3 – 7 мкм. Электрохимические измерения проведены в 3%-м NaCl, потенциостат П5827м, 3-электродная ячейка из стекла «Пирекс» с разделенным шлифом анодным и катодным пространствами. Потенциалы (Е) измерены относительно насыщенного хлорсеребряного электрода и пересчитаны по н.в.ш. Вспомогательный электрод – Pt, рабочий (Ст3) находился в оправке из эпоксидной смолы, отвержденной полиэтиленполиамином. Использована потенциостатическая поляризация с шагом потенциала 0,02В (комнатная температура, атмосфера – воздух, выдержка при каждом Е – 30 с. Толщина наносимой защитной пленки –  $20 \pm 5$  мкм (гравиметрическая оценка с точностью  $5 \cdot 10^{-5}$  г. Переход Fe в раствор контролировали качественно с  $K_4[Fe(CN)_6]$ , количественно – фотокориметрически с сульфосалициловой кислотой. Коррозионные испытания проведены в 3%-м NaCl (14 суточные эксперименты) и в термовлагокамере Г – 4 (30 суток) с циклом: 8 ч при 40°C и 100%-й относительной влажности, остальное время – камера отключена и обесточена.

**Экспериментальные результаты.** Потенциал коррозии ( $E_{кор}$ ) стали в рабочем растворе близок к  $-0,5$ , компактного цинка  $\approx -0,8$  В. Сталь с нанесенным защитным покрытием, как и следовало ожидать, характеризуется промежуточным  $E_{кор}$ . Отметим, что чем отрицательнее потенциал стали, тем эффективнее покрытие. Наличие в масляной пленке 40 масс.% Zn приводит к  $E_{кор}$  стали, равному

$\sim -0,63$  В (рис. 1 а). Введение микрографита (МК) несколько его снижает. Наибольший эффект оказывает добавка 0,1 масс.% МК.

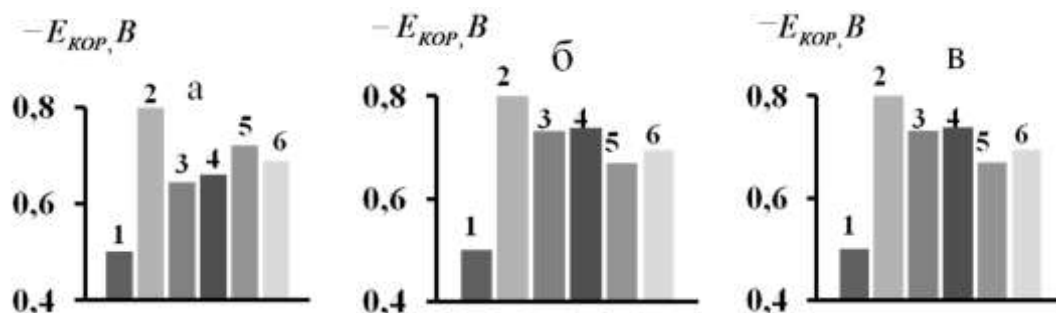


Рис. 1. Потенциалы коррозии стали Ст 3, защищенной покрытием на масляной основе ММО, содержащем микроструктурированный графит с концентрацией цинка 40 масс.% (а); 50 масс.% (б); 60 масс.% (в): 1 – чистая сталь; 2 – компактный цинк; 3 – состав с цинковым порошком без графита.  $C_{\text{графита}}$ , масс. %: 4 – 0,01; 5 – 0,10; 6 – 1,00. Рабочая среда – 0,5М NaCl, pH=7. Комнатная температура. Атмосфера – воздух

Рост  $C_{\text{Zn}}$  до 50 масс.% также оказывает позитивное действие.  $E_{\text{кор}}$  стали снижается до  $-0,7$  В, следовательно, возрастает протекторный эффект и радиус действия протектора (рис. 1 б). Наличие 0,01 масс.% МК не изменяет  $E_{\text{кор}}$ , а рост в 10 и особенно в 100 раз его существенно повышает, ведя к негативному эффекту (рис. 1 б). Последующее увеличение  $C_{\text{Zn}}$  в масляной композиции до 60 масс.% уменьшает  $E_{\text{кор}}$  на 0,025 В. Еще более положительное действие оказывает дополнительное введение 0,01% МК.

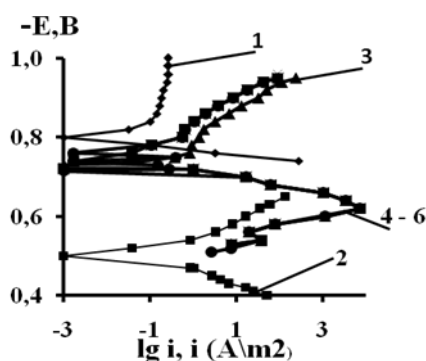


Рис. 2. Поляризационные кривые углеродистой стали Ст3 (2-7) и компактного цинка (1) в 0,5М, pH = 7 растворе NaCl при комнатной температуре. Атмосфера – воздух. Состав покрытий, связующий материал – ММО: 1 – компактный цинк; 2 – сталь без покрытия; 3 – 60% цинка;  $C_{\text{микрографита}}$ , масс. %: 4 – 0,01%; 5 – 0,1%; 6 – 1%

Для сопоставления кинетики анодного растворения массивного цинка и цинкового порошка, вводимого в защитное покрытие, получены потенциостатические поляризационные кривые. В качестве примера приведем результаты электрохимических измерений на стальном электроде, защищенном композицией с 60 масс.% цинкового наполнителя в ММО.

Снижение  $C_{\text{Zn}}$  до 50 и 40 масс.% не вносит принципиальных изменений. Легко видеть, что скорость активного анодного растворения цинка из композиции протекает на порядок с меньшей скоростью, чем массивного цинка (рис. 2). Получены и экспериментальные доказательства, что анодные поляризационные кривые, снятые на защищенном стальном электроде, характеризуют именно скорость ионизации протектора. Дело в том, что как будет указано ниже, в первые пятнадцать суток при коррозии такой системы железо вообще не переходит в раствор. Оно в нем не обнаруживается даже весьма чувствительной качественной реакцией с  $K_4[Fe(CN_6)]$ . С другой стороны, оно не переходит и в осадок в виде плохорастворимого  $Fe(OH)_2$  или продукта его окисления  $Fe(OH)_3$ , так

как при большей продолжительности коррозионного процесса оно легко фиксируется.

Катодный процесс на защищенном стальном электроде значительно облегчен по сравнению с протеканием его на компактном цинке, но он не лимитирует коррозию стали. Через 75-80 часов нахождения электрода в рабочем растворе  $E_{\text{кор}}$  защищенной стали составляет  $-0,55 \pm -0,56$  В, т.е. отрицательнее незащищенной стали всего на 50-60 мВ.

Следовало полагать, что протекторный эффект цинка в масле резко ослабевает. Однако однозначно решить вопрос относительно защитной эффективности исследуемых составов можно только посредством коррозионных испытаний.

Влияние типа масла, концентрации цинкового порошка, природы и содержания углеродного наполнителя на защитную эффективность (Z) композиций при коррозии стали Ст3 в термовлагокамере Г-4. Продолжительность испытаний – 30 суток.  
 $K_0$  (без покрытия) =  $7,6 \cdot 10^{-2}$  г/(м<sup>2</sup>·ч)

Природа масла	Толщина покрытия, мкм	Концентрация цинка, масс. %	Природа углеродного наполнителя	Концентрация углеродного наполнителя, масс. %	Z, %
ММО	5	-	-	-	63
	11	40	-	-	88
	14	40	МК	1,00	97
	11	40	МК	0,10	71
	16	40	МК	0,01	91
РМ	15	-	-	-	98
	20	40	-	-	99
	17	40	МК	1,00	94
	16	40	МК	0,10	96
	14	40	МК	0,01	99
ММО	12	50	-	-	73
	13	50	МК	1,00	86
	14	50	МК	0,10	93
	10	50	МК	0,01	94
РМ	20	50	-	-	100
	13	50	МК	1,00	99
	16	50	МК	0,10	99
	24	50	МК	0,01	99
ММО	12	-	-	-	63
	11	60	-	-	88
	13	60	МК	1,00	98
	17	60	МК	0,10	86
	12	60	МК	0,01	99
РМ	15	-	-	-	98
	15	60	-	-	97
	13	60	МК	1,00	100
	9	60	МК	0,10	99
	15	60	МК	0,01	100

В целом изученные составы характеризуются высокой защитной эффективностью в условиях атмосферной коррозии углеродистой стали. Особенно следует отметить эффективность составов рапсового масла, которое является возобновляемым экологически чистым продуктом, высокоэффективным и в отсутствие наполнителя, обладающего протекторными свойствами.

**Головченко А.О.** –

аспирант кафедры «Химия»

Тамбовского государственного технического университета

**Таныгин А.Ю.** –

аспирант кафедры «Химия»

Тамбовского государственного технического университета

**Вигдорович Владимир Ильич** –

доктор химических наук,

профессор кафедры «Химия»

Тамбовского государственного технического университета

**А.П. Гонтарев, В.В. Лукьяненко, В.В. Погораздов, М.В. Сапетов, П.Ф. Шпак**

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ОСЕВОГО ПРОФИЛЯ ТЕЛ КАЧЕНИЯ БУКСОВОГО ПОДШИПНИКА С УЧЁТОМ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ АДАПТАЦИИ**

*Выносится на обсуждение концепция для выбора профиля осевого сечения буксового грузового подшипника. Оптимальный профиль определяется на основе экспериментально-статистической обработки данных по микрогеометрии тел качения после эксплуатационной приработки подшипника. Предлагается технология суперфинишной фиксации оптимального профиля при регенерации подшипника.*

**A.P. Gontarev, V.V. Lukyanenko, V.V. Pogorazdov, M.V. Sapetov, P.F. Shpak**

### **AXIAL PROFILE OPTIMIZATION OF SOLIDS OF REVOLUTION OF JOURNAL BEARING WITH ACCOUNT FOR ITS OPERATION ADAPTATION**

*The approach for the choice of axial profile of freight journal bearing is brought up for discussion in this article. The optimum profile is found out on the basis of experimental and statistical data processing of solids of revolution microgeometry after run-in operation of the bearing. The technology of superfinish fixation of the optimum profile in bearing regeneration is offered in this article.*

Профиль осевого сечения тел качения буксового подшипника имеет большое значение для его работоспособности [1]. Контактные поверхности, работающие под нагрузкой в условиях линейного контакта, целесообразно делать слегка выпуклыми. Это обеспечивает центральное приложение нагрузки и устраняет кромочные «пики» нагрузки, возникающие из-за неточностей изготовления и монтажа подшипника. Выпуклость способствует и лучшей прирабатываемости подшипника в целом.

Известные зарубежные фирмы, лидирующие на рынке подшипников, судя по рекламным материалам, данному вопросу уделяют очень большое внимание, между тем скрывая технические подробности его решения от возможных конкурентов.

Необходимую степень выпуклости тел качения определяют по-разному. В простых случаях рассчитывают по величине упругой деформации поверхности под нагрузкой с учётом возможных в системе перекосов или чаще экспериментально. Изготавливают несколько пробных деталей с различной степенью выпуклости, испытывают их под нагрузкой и по следам износа выбирают нужную выпуклость.

В данной работе авторы выносят на обсуждение ещё одну концепцию, согласно которой регламентация профиля тела качения буксового грузового подшипника прогнозируется сугубо экспериментально с учётом его эксплуатационной адаптации к условиям российских железных дорог. Такая возможность представляется систематической практикой разборной диагностики буксовых подшипников и их регенерацией ремонтными службами подвижного состава РЖД.

Эксперименты в рамках поставленной задачи проводились в определённой последовательности. Сначала по возможности объективно выявлялась и фиксировалась типовая форма осевого сечения роликов «новых» подшипников различных заводов и фирм, поступающих на сборку буксовых узлов. Эта весьма трудоёмкая операция выполнялась с использованием современного контрольно-измерительного устройства для анализа поверхностей Form Talysurf 120 (фирма TAYLOR-HOPSON).

С высокой степенью достоверности удалось установить, что типовая форма осевого сечения роликов большинства подшипников различных фирм имеет выпуклость постоянной кривизны (рис. 1). Это обуславливает весьма заметную разницу в напряжённом состоянии подповерхностных слоёв ролика, которую после приработки подшипника объективно фиксирует прибор вихретокового контроля ПВК-К2М в виде тёмной круговой полосы в средней части ролика (рис. 2).

При этом форма осевого сечения ролика становится похожей на кривую с явно переменной кривизной (рис. 3). Кривизна стремится к нулю в средней части и заметно увеличивается ближе к

торцам ролика. Данный эксперимент в достаточной степени подтверждает справедливость ранее сделанных высказываний зарубежных [2] и российских [3] специалистов о рациональности профиля переменной кривизны. Соглашаясь с этим, обсудим далее вопрос о формализации и практической реализации оптимальной<sup>1</sup> геометрии осевого сечения ролика.

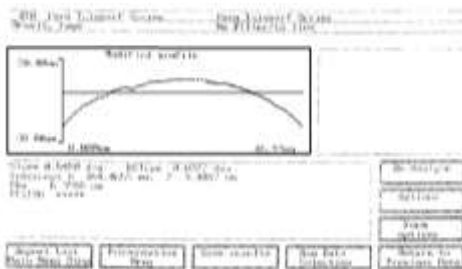


Рис. 1. Типовая форма осевого сечения ролика

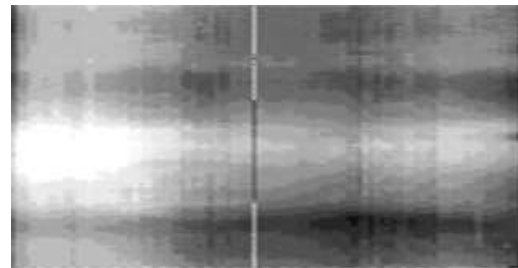


Рис. 2. Полоса повышенных напряжений

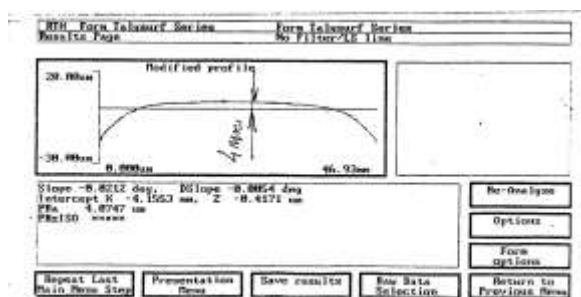
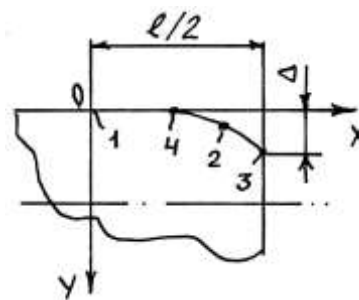


Рис. 3. Осевой профиль ролика после его приработки и его графическая формализация



Цифровые возможности прибора Form Talysurf 120 и компьютерный анализ на основе интерполяции в среде Mathcad табличных функций профильных кривых роликов с опорными точками (1,2,3,4) позволили построить их функцию в следующем знаковом виде:

$$y(x) := 1.414 \times 10^{-5} \cdot x^{0.691} \cdot e^{0.209x} \quad (1)$$

Функция (1) без её фетишизации может служить формальной основой для исследования контактных напряжений в подповерхностных слоях ролика, о чем речь пойдет ниже.

В качестве инструмента исследования напряжений применялся компьютерный анализ трёхмерных моделей методом «конечных элементов». Моделировалось несколько упрощенное взаимодействие между роликом и контактирующими с ним элементами в виде плоских прямоугольных пластин. Статическая нагрузка, прикладываемая к верхней пластине, а через неё на ролик варьировалась в диапазоне от 700 до 10000 кГ. Характер картины локализации максимальных напряжений во всех случаях не менялся, поэтому далее будут приведены иллюстрации расчёта с нагрузкой на ролик 1802 кГ, что соответствует регламентированной нагрузке на ось железнодорожного вагона 23,05 Т.

На рис. 4 а показана эпюра распределения запаса прочности в модели с роликом прямолинейного профиля. Минимальный коэффициент запаса прочности ( $K = 7.07$ ), а следовательно, и локализация максимальных напряжений находятся в зоне поверхностного контакта непосредственно на границе радиусной фаски и линейного участков. Изменения напряжений за счёт торцевой радиусной фаски не происходит.

На рис. 4 б показана эпюра в модели с роликом радиусного профиля  $R \approx 20000$  мм. Характер напряжений изменился. Минимальный коэффициент запаса прочности ( $K = 6,33$ ), а следовательно, и локализация максимальных напряжений находятся также в зоне поверхностного контакта непосредственно на границе радиусной фаски и радиусного профиля ( $R 0,7$  и  $R 20000$  мм), при этом распределение напряжений внутри моделей явно неравномерно, что не лучшим образом скажется на несущей способности ролика.

<sup>1</sup> Профиль ролика после приработки и адаптации вполне может называться «оптимальным».

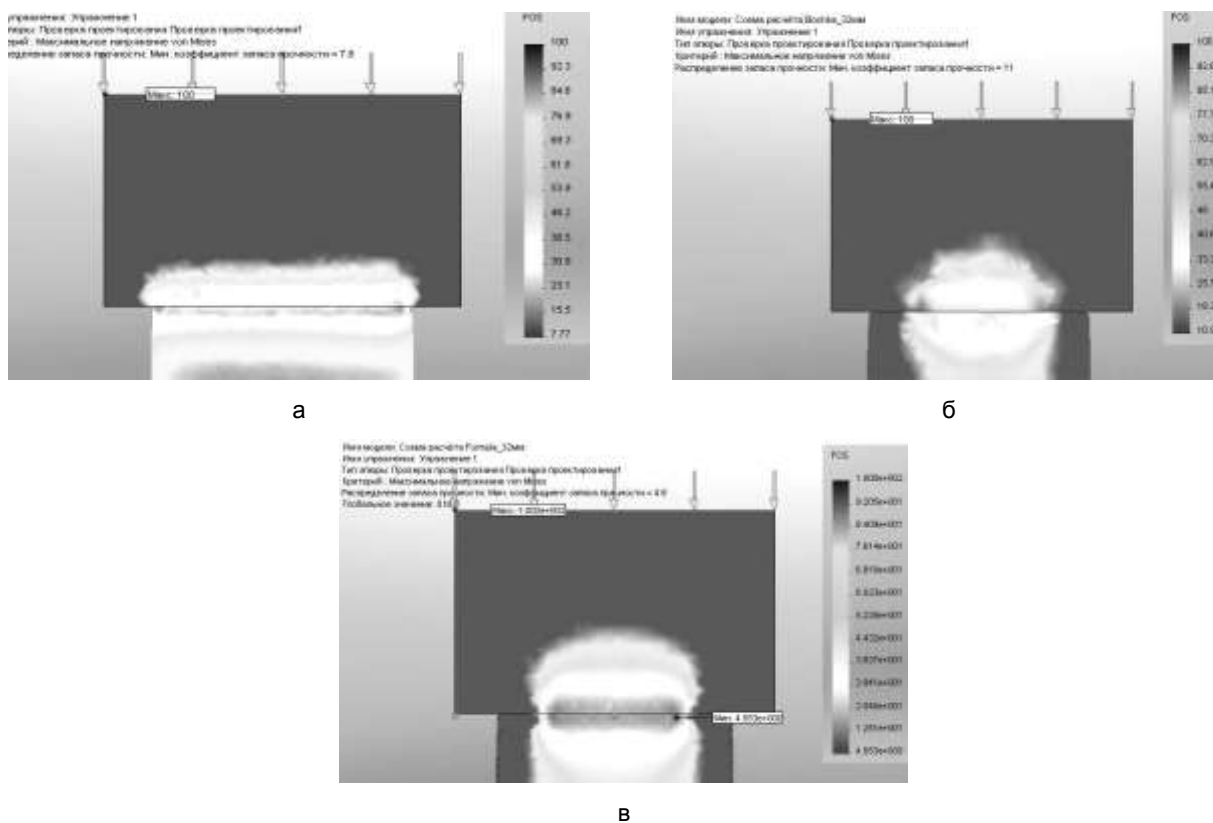


Рис. 4. Эпюры распределения запаса прочности

На рис. 4 в представлена эпюра в модели с роликом приработанного подшипника. Минимальный коэффициент запаса прочности ( $K = 4,83$ ), а следовательно, и локализация максимальных напряжений находятся также в пограничной зоне поверхностного контакта. Максимальные напряжения смещаются к центру ролика, более равномерно перераспределяются внутри и не «привязаны» к границе радиусной фаски и функционального профиля ролика. Таким образом, на торцах ролика снимаются локальные напряжения. Это благоприятно скажется на износе краёв ролика и его общей несущей способности, т.к. реальный ролик испытывает не только радиальную, но и осевую нагрузку, которая в данных расчётах не учитывалась. Следует заметить, что некоторое снижение минимального коэффициента запаса прочности ( $K = 4,83$ ), а как следствие, снижение радиальной несущей способности с лихвой окупится повышением осевой нагрузочной способности.

Далее коснёмся ещё одного вопроса о технологии фиксации «оптимального» профиля при регенерации подшипника условиях ремонтных служб подвижного состава РЖД. Рассматривая приработанные ролики в качестве заготовок, они проходят вторичную обработку бесцентровым суперфинишированием. Операция суперфиниширования проектируется так, чтобы устранялись выявленные дефекты и, самое главное, фиксировался профиль (1) соответствующими наладками станка и режимами обработки [4], обсуждение которых не является целью данного доклада.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов П.И. Основы конструирования: справ.-метод. пособие: в 3 кн. Кн. 1 / П.И. Орлов; изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977.
2. Главный каталог SKF. Ответственный издатель: Директор Габар Холлерунг. Типография им. Кошута, Будапешт. Ответственный руководитель: Генеральный директор Иштван Беде.
3. Королёв А.А. Технологические решения проблемы повышения долговечности опор трения качения / А.А. Королёв, А.Н. Баканов // Исследования станков и инструментов для обработки сложных и точных поверхностей: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2006. С. 69-71.
4. Погораздов В.В. Основы геометро-кинематического синтеза формообразующей системы бесцентровых суперфинишных станков / В.В. Погораздов, Б.М. Бржозовский, О.В. Захаров // Процес-



сы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. Волжский: ВолгГАСА, 2000. С. 96-98.

**Гонтарев Анатолий Петрович** –

директор филиала

ООО «Научно-исследовательский центр Европейской подшипниковой корпорации», г. Саратов

**Лукьяненко Валерий Васильевич** –

начальник технического отдела Приволжской дирекции по ремонту грузовых вагонов, г. Саратов

**Погораздов Валерий Васильевич** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении»

Саратовского государственного технического университета

**Сапетов Михаил Владимирович** –

первый заместитель начальника Центральной дирекции по ремонту грузовых вагонов, г. Москва

**Шпак Петр Фёдорович** –

начальник Приволжской дирекции по ремонту грузовых вагонов, г. Саратов

УДК 681.51

**Д.В. Грачев**

## **ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ**

*Анализируется возможность применения нечеткого логического вывода для моделирования составляющих силы резания.*

**D. Grachev**

## **FUZZY LOGIC INFERENCE FOR CUTTING FORCE MODELLING**

*Usability fuzzy logic inference for cutting force modeling is analyzed.*

Для расчета сил резания при точении на практике традиционно используются следующие зависимости:

$$\begin{aligned} P_x &= C_{P_x} t^{X_{px}} s^{Y_{px}} v^{Z_{px}} K_{ОБЩ} \\ P_y &= C_{P_y} t^{X_{py}} s^{Y_{py}} v^{Z_{py}} K_{ОБЩ} \\ P_z &= C_{P_z} t^{X_{pz}} s^{Y_{pz}} v^{Z_{pz}} K_{ОБЩ} \end{aligned} \quad (1)$$

в которых входные ( $t$ ,  $s$ ,  $v$  – глубина, подача и скорость резания) и выходные ( $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  – соответственно, осевая, радиальная и тангенциальная составляющие силы резания) связаны собой степенной функцией, показатели которой выражают влияние соответствующего параметра режима резания на силу резания. Множество остальных факторов, влияющих на выходные величины, такие как геометрия инструмента, вид обрабатываемого материала, смазочно-охлаждающей жидкости и т. д., учитываются в модели неявно, через коэффициенты. Данная модель получена эмпирическим путем, т. е. на основании

проведения экспериментов и обработки их результатов, которые показали, что зависимость сил резания от параметров резания хорошо аппроксимируется степенной функцией. Имеются и теоретически полученные уравнения, но они сложны и для практических расчетов не используются.

Параметрическая идентификация данной модели затруднительна, поскольку происходит постоянное изменение технологической среды. Еще одна сложность учета множества факторов, влияющих на выходные величины заключается в том, что они плохо формализуемы, их практически невозможно описать числовыми значениями.

Поскольку выражение (1) не является физическим законом, его назначение – аппроксимация экспериментальных зависимостей, нет никаких препятствий аппроксимировать данные зависимости с применением нечеткого логического вывода, тем более что существование в аппарате нечеткой логики такой категории как «лингвистическая переменная» полностью снимает проблему учета плохо формализуемых факторов. Применительно к построению моделей нечеткая логика относится к технологиям так называемой интеллектуальной идентификации и хорошо зарекомендовала себя в системах с неполной информацией и высокой сложностью. Для аппаратной реализации нечетких моделей и систем нечеткого управления чаще всего достаточно недорогих микроконтроллеров. К тому же теоретические положения нечеткого логического вывода [1] «уровнивают в правах» функциональные и нечеткие модели, снимая при этом какие-либо теоретические ограничения в применении моделей на основе нечеткой логики.

Процедура построения нечеткой модели начинается с описания входных и выходных переменных. Для более детального учета всех необходимых факторов входных переменных может быть больше, чем в выражении (1). Помимо глубины, подачи и скорости резания за входные величины можно также принять свойства материала инструмента, геометрию инструмента, свойства материала заготовки, свойства охлаждающей жидкости и т.д. Таким образом, применение аппарата нечеткой логики позволяет более детально подойти к процедуре идентификации силового взаимодействия в зоне резания (рис. 1).

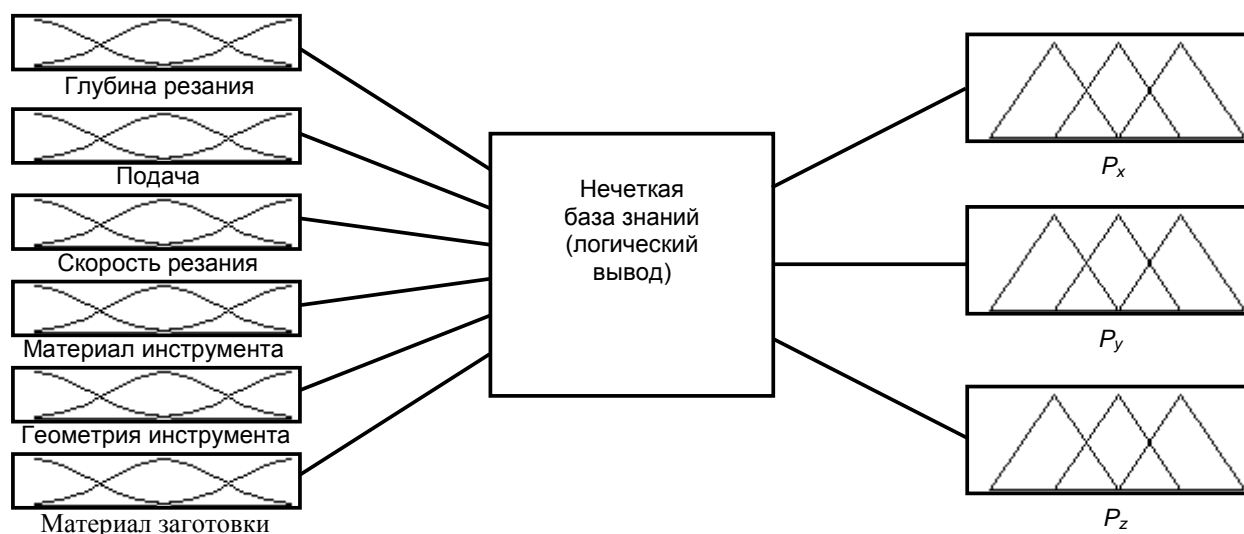
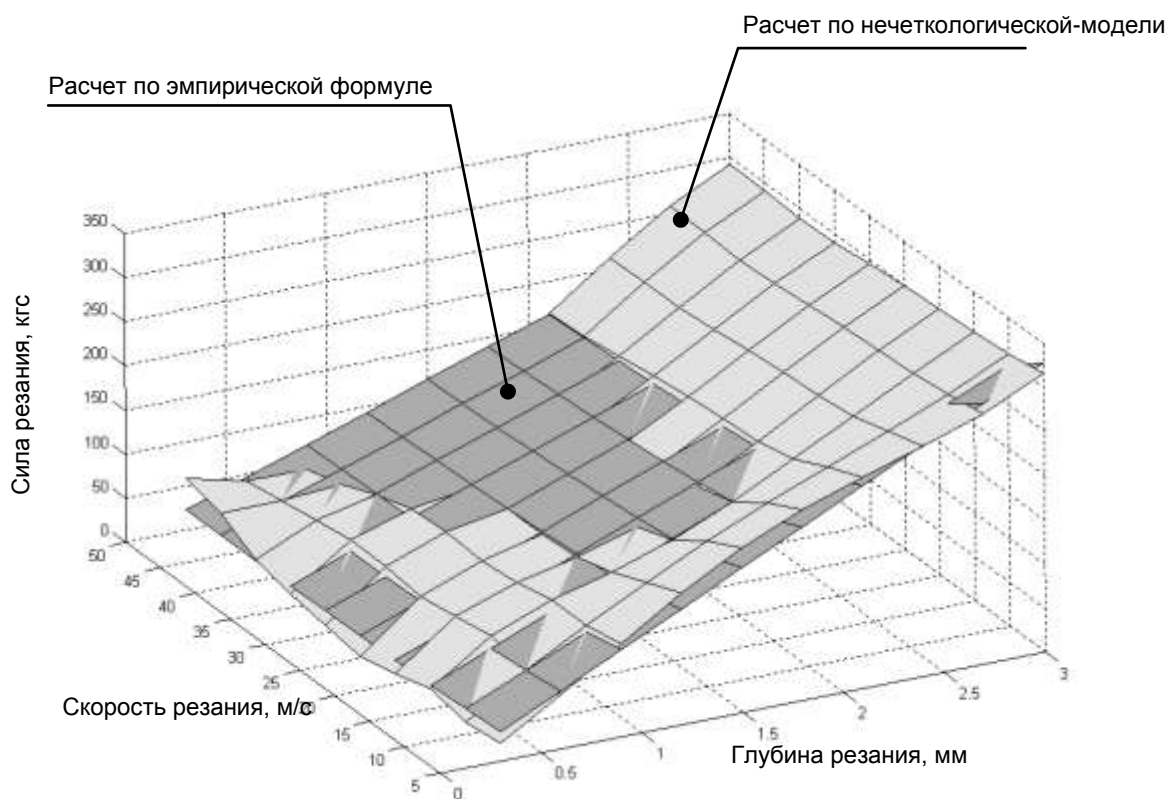


Рис. 1. Обобщенная структура нечеткой модели силового взаимодействия в зоне резания

Функциональные модели накладывают ограничения на использование таких величин как свойство материала, геометрия инструмента и т.п., позволяя учитывать лишь их интегративное влияние через коэффициенты. Нечеткие модели позволяют сделать эти величины «полноправными» входными переменными и предоставляют богатые возможности для их представления. Переменные в нечеткой логике описываются лингвистическими значениями с последующей их формализацией нечеткими множествами. Таким образом, для описания, к примеру, свойств материала можно применить следующие неформальные значения: «твердый», «мягкий», «неоднородный» и т.п. В качестве входных переменных можно использовать дополнительные источники информации о процессах в зоне резания, получаемых от датчиков. Например, таким источником может служить вибросигнал системы резец-деталь, который, по сути, является переменной составляющей силы резания [2].

Следующий этап построения нечеткой модели заключается в формулировании правил нечеткой базы знаний. Формирование связей между входными и выходными переменными в базе знаний может осуществляться опытным путем, с привлечением экспертных оценок, с использованием функциональной зависимости (1) и т.д.

Точная настройка нечеткой модели осуществляется подстройкой функций принадлежности лингвистических значений с применением адаптивных алгоритмов [3]. К таким алгоритмам относится алгоритм адаптивного нейро-сетевое обучение. Основная идея этого алгоритма заключается в настройке процедуры нечеткого логического вывода с помощью набора экспериментальных данных для расчета параметров функций принадлежности позволяющего наилучшим образом аппроксимировать зависимость «входы – выход». Метод обучения аналогичен методу обучения искусственных нейронных сетей и использует для настройки параметров алгоритм обратного распространения в комбинации с методом наименьших квадратов. Для решения задачи моделирования сил резания на начальном этапе воспользуемся выражением (1) для получения набора данных для обучения, ограничиваясь при этом тремя входными переменными «Глубина резания», «Подача», «Скорость резания». Для оценки входных переменных «Глубина резания», «Подача» используем два термина, переменная «Скорость резания» оценим тремя терминами.



Результаты моделирования представлены на рис. 2. Из графика видно, что данные нечеткой модели практически полностью повторяют данные эмпирической зависимости (1). При данной структуре модели с тремя входными переменными среднеквадратичная ошибка составила  $< 25$  кгс. При этом возможно добиться уменьшения ошибки до сколь угодно малых значений, вводя дополнительные термины входных и выходных переменных и соответствующем увеличением правил.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kosko B. Fuzzy Systems as Universal Approximators / B. Kosko // Proceedings of the First IEEE Conference on Fuzzy Systems ZZ-92. San Diego, March 1992. P. 1153-1162.
2. Бржозовский Б.М. Информационные аспекты идентификации качества обработки деталей по характеристикам вибросигналов о колебаниях станка / Б.М. Бржозовский, Д.В. Грачев, В.В. Мартынов // Конкурентоспособность машиностроительной продукции и производств: материалы Междунар. науч.-техн. семинара. М.: Изд-во МГТУ «Станкин», 2005. С. 42-45.

3. Jang J.-S.R. ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems / J.-S.R. Jang // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Vol. 23. № 3. May 1993. P. 665-685.

**Грачев Денис Владимирович** –

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование  
технологического оборудования в машино- и приборостроении»

Саратовского государственного технического университета

УДК 681.5

**А.С. Гребнева**

### **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ПРЕЦИЗИОННЫХ СТАНКОВ**

*Рассмотрены стенды для диагностики и испытаний шпиндельных узлов прецизионных станков.*

**A.S. Grebneva**

### **AUTOMATED TESTS SPINDLE OF UNIT OF PRECISION MACHINE TOOLS**

*Stands for diagnostics and tests spindle unit of precision machine tools are considered.*

Современные технологии требуют непрерывного контроля за многими параметрами технологического процесса, в том числе за состоянием оборудования. Системный подход к обеспечению технологической надежности металлорежущих станков позволил разработать методику их динамических испытаний, проводимых на базе виброакустического анализа элементов конструкции станков на различных этапах их жизненного цикла [1]. Установлено, что производительность и точность обработки на прецизионных станках в значительной мере определяются уровнем колебаний шпинделя.

Система контроля и диагностики, предложенная А.В. Пушем, включает диагностику, идентификацию, прогнозирование и управление состоянием станочной системы на основе анализа информации и принятия решения. Управляющее решение может быть выбрано двумя способами. В первом случае фактическое состояние системы сравнивают с идеальным, определенным путем моделирования, во втором случае решение принимает экспертная система. Оценка технического состояния оборудования базируется на оперативном получении, накоплении, анализе информации, экстраполяции его результатов для принятия решения. Информация об изменении определяющих параметров формируется несколькими информационно-измерительными каналами. В частности, для станков это могут быть каналы контроля вибраций, температуры, размеров деталей, сил резания и т.д. Важно, чтобы информация обрабатывалась на ЭВМ и оперативно принималось решение [2].

При построении системного контроля техпроцесса шлифования колец подшипников в работе С.А. Игнатьева был апробирован метод контроля динамического состояния станков по виброакустическим колебаниям [3]. Назначением этого метода является обнаружение изменений вибрационного состояния контролируемого объекта в процессе эксплуатации, причинами которых являются развивающиеся дефекты оборудования и отклонения режимов работы. По сигналу вибрации могут быть обнаружены практически все виды зарождающихся дефектов в работающем оборудовании без привлечения для диагностики других видов физических процессов.

Объектом испытаний служили шпиндельные узлы (ШУ) прецизионных токарных ГПМ типа ТПАРМ, оснащенные аэростатическими опорами. При прецизионной обработке уровень вынужден-

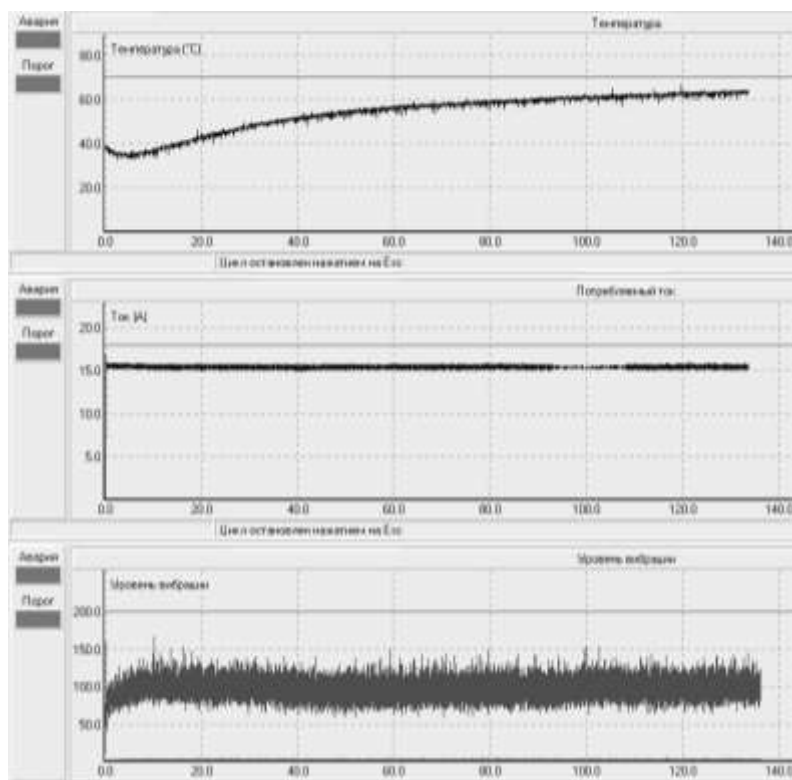
ных колебаний технологической системы ГПМ незначительно (на 10-15%) превышает уровень колебаний на холостом ходу [1].

Количественно оценить влияние неуравновешенности шпинделя на его динамические характеристики и на качество прецизионной токарной обработки позволили результаты испытаний ГПМ мод. ТПАРМ-100М, в процессе которых создавали дисбаланс шпинделя на патроне и шкиве и анализировали погрешности геометрических параметров обрабатываемой детали.

Дисбалансирующую массу увеличивали дискретно с шагом 3-6 г от 4,6 до 20,8 г при ее расположении на кулачке патрона, на внутренней поверхности шкива. После установки соответствующей массы при вращающемся ( $n = 2000$  об/мин) шпинделе измеряли параметры вибрации передней и задней частей его корпуса, а затем обрабатывали наружную поверхность цилиндра из алюминиевого сплава АК41 резцом из твердого сплава ВК8 при  $n = 2000$  об/мин с подачей 0,06 мм/об и глубиной резания 20 мкм.

Данные, полученные в ходе испытаний, свидетельствуют о том, что на погрешность формы детали в значительно большей степени влияет неуравновешенность передней части шпинделя, чем задней его части. Это указывает на необходимость динамической балансировки шпинделя токарных ГПМ, осуществляемой по результатам контроля уровня вибраций его передней и задней частей, что позволит снизить погрешности геометрических параметров обрабатываемой детали.

На данный момент существует стенд для испытания и диагностики шпиндельных узлов (ШУ). В состав стенда входит измерительно-управляющий комплекс, который предназначен для съема измерительной информации о точностных, виброакустических и тепловых характеристиках ШУ, обработки этой информации в соответствии с методикой диагностики и выдачи результатов диагностики. Измерительно-управляющий комплекс состоит из основных систем: управления приводом; контроля точностных характеристик шпиндельного узла; контроля виброакустических характеристик узла; контроля тепловых характеристик узла [4].



Результаты диагностики ШУ

При эксплуатации стенда шпиндель закрепляется в призме и устанавливаются необходимые датчики, оператором устанавливаются режим обкатки и допустимые уставки для конкретной модели шпинделя. В течение обкатки автоматически, при помощи ЭВМ контролируются параметры шпинделя и на мониторе компьютера отображаются графики изменения этих параметров (рисунок). После

завершения обкатки или при превышении каким-либо измеряемым параметром заданной уставки стенд автоматически завершает процесс обкатки и оператором составляется протокол испытаний. Результаты испытаний сохраняются в виде файлов для последующего анализа [5].

Привод вращения электрошпинделей осуществляется подачей напряжения от частотного преобразователя ЭЧРЗ-22, 0-380. Частота подаваемого на двигатель напряжения 200÷3000 Гц.

В зависимости от модели шпинделя и от условий его применения определены границы допускаемых отклонений показателей. Измерительная информация и ее статистическая обработка позволяют объективно оценивать техническое состояние шпинделей, а при необходимости производить диагностирование неисправностей [5].

Статистические данные о состоянии шпинделей во многом отражают состояние всего технологического оборудования.

В настоящее время все большее применение находит вибрационный способ контроля машин и станков для решения задач контроля и диагностики технологического оборудования: распознавание состояния эксплуатируемого станка. Выявление причин и условий, вызывающих отказы и контроль металлорежущих станков после изготовления и ремонта с целью обнаружения дефектов обработки деталей сборки, настройки и т.д. [6].

Таким образом, приведенные данные показывают, что для обеспечения качества ШУ необходимо осуществлять контроль их характеристик на специальных стендах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Добряков В.А. Динамические испытания шпиндельных узлов прецизионных токарных ГПМ в условиях эксплуатации / В.А. Добряков, А.А. Игнатьев // СТИН. 1997. № 7. С. 24-27.
2. Пуш А.В. Шпиндельные узлы: качество и надежность / А.В. Пуш. М.: Машиностроение, 1992. 288 с.
3. Игнатьев С.А. Обеспечение качества обработки поверхностей качения колец подшипников на основе контроля динамического состояния шлифовальных станков по стохастическим характеристикам виброакустических колебаний: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.А. Игнатьев. Саратов: СГТУ, 2001. 16 с.
4. Автоматизированный стенд комплексного контроля и диагностики шпиндельных узлов металлорежущих станков / О.Ф. Полтавцев, В.В. Зимин, В.Ф. Алешин, С.А. Зверков, С.И. Кучеренко, К.Р. Диланян // Труды МГТУ. 1992. № 551. С. 58-66.
5. Стенд обкатки и испытания шпинделей: руководство по эксплуатации. Саратов: ЗАО «ПОДШИПНИК-СТОМА». 2005. 15 с.
6. Автоматизированная система диагностирования состояния процесса резания и инструмента. 2003. [http:// www.vto.stankin.ru](http://www.vto.stankin.ru)

**Гребнева Анна Сергеевна** – аспирантка кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

УДК 621.357.7.014

**А.С. Денисов, Г.А. Боровиков, А.Р. Асоян, А.А. Суханкин**

### **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРЕННЫХ ОПОР БЛОКА ЦИЛИНДРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Рассмотрены дефекты постелей блока, возникающие в процессе эксплуатации, вследствие чего понижается надежность силового агрегата. Представлена схема действия сил на коренную опору блока и механизм изменения размеров и*

формы коренной опоры. Рассмотрена технология нанесения электролитического железоникелевого покрытия и технология обработки постелей блока под номинальный размер.

A.S. Denisov, G.A. Borovikov, A.R. Asoyan, A.A. Suhankin

## FEATURES TECHNOLOGY REHABILITATION OF INDIGENOUS BRACKETS CYLINDER BLOCKS TO IMPROVE RELIABILITY DIESEL ENGINES

*The defects bedding block damaged during use, resulting in reduced reliability of the power unit. The scheme is presented of the forces at major support unit and the mechanism of change in size and shape of the fundamental pillars. We consider the technology of electrolytic iron-nickel coating and processing technology bedding block under the nominal size.*

Одной из основных причин, снижающих межремонтный срок службы двигателя, является неправильное взаимодействие его деталей и сборочных единиц, которое в значительной степени зависит от взаимного расположения базовых поверхностей и осей посадочных отверстий. В частности, работоспособность коленчатого вала и его подшипников скольжения определяется многими факторами, среди которых диаметр и форма поверхности гнезд под коренные вкладыши и их техническое состояние в процессе эксплуатации двигателя имеют первостепенное значение.

Для подвижных сопряжений подшипников коленчатого вала (ПКВ) и цилиндропоршневой группы (ЦПГ) приняты обоснованные в работах Ф.Н. Авдонькина и А.С. Денисова экспоненциальные зависимости износа и изменения макрогеометрии от наработки, а также диагностических показателей (расход масла на угар, давление в системе смазки).

В коренных опорах корпуса блока упругим деформациям подвергается крышка. Поскольку двигатель КамАЗ-740 V-образный, нагрузки на опору отклонены от вертикали в обе стороны на  $45^\circ$  (рис. 1).

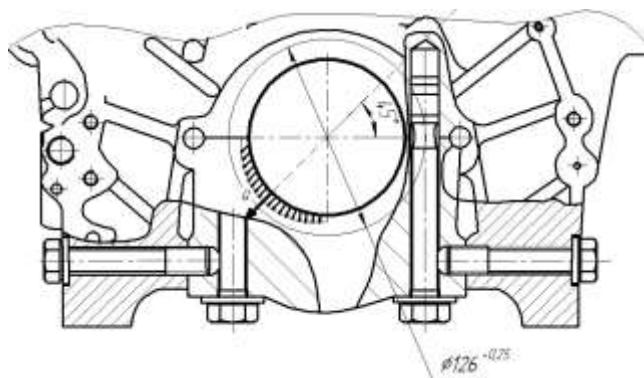


Рис. 1. Схема действия равнодействующей газовых сил  $Q$

Следствием действия равнодействующей газовых сил  $Q$  являются изменение размеров и формы коренной опоры блока. Горизонтальная составляющая равнодействующей силы  $Q_x$  образует изгибающий момент.

Это вызывает увеличение зазора и возникновение дополнительных динамических нагрузок. Аналогично и часть горизонтальной составляющей  $Q'_x$ :

$$Q'_x = Q_x f_{mp}, \quad (1)$$

где  $f_{mp}$  – коэффициент трения, нагружает изгибающим моментом крышку коренной опоры. Здесь максимум изгибающего момента наступает на стыке картера и крышки.

Таким образом, действующие дополнительные динамические нагрузки в коренной опоре вызывают фреттинг-изнашивание в неподвижном сопряжении картера с крышкой, а также вследствие

повышения амплитуды вибраций – в сопряжении вкладыш-крышка. Это обуславливает неравномерное изнашивание крышки коренной опоры. В результате она приобретает форму овала.

В перпендикулярной плоскости жесткость вкладышей минимальна, так как усилие сюда передается через упругий вкладыш. Следовательно, здесь будут максимальные амплитуда вибраций и скорость изнашивания. Это подтверждается следами фреттинг-изнашивания на коренной опоре и на обратной стороне коренных вкладышей.

В соответствии с обоснованными профессором Ф.И. Авдоськиным зависимостями скорости изнашивания от износа:

$$\alpha_1 = \alpha_{01} + bS_1; \quad (2)$$

$$\alpha_2 = \alpha_{02} + bS_2, \quad (3)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – соответственно интенсивность изнашивания в вертикальной и горизонтальной плоскостях, мкм/тыс. км;  $\alpha_{01}, \alpha_{02}$  – интенсивность изнашивания в конце приработки, мкм/тыс. км;  $b$  – изменение интенсивности изнашивания за единицу износа, 1/тыс. км;  $S_1, S_2$  – износ, мкм.

Запишем выражение для интенсивности овализации  $\Delta\alpha$ :

$$\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2, \quad (4)$$

или

$$\Delta\alpha = \alpha_{01} - \alpha_{02} + bS_1 - bS_2 = \Delta\alpha_0 + b(S_1 - S_2). \quad (5)$$

То есть интенсивность овализации  $\Delta\alpha$  в процессе изнашивания возрастает прямо пропорционально величине овальности. Это приводит к увеличению овальности коренной опоры и ухудшению условий монтажа коренного вкладыша после замены, поэтому необходимо при разработке технологии восстановления устранять макрогеометрические отклонения в коренных опорах.

Одним из методов восстановления изношенных поверхностей деталей агрегатов автомобилей под номинальный размер является метод нанесения гальванических металлопокрытий. В данной работе предлагается для восстановления изношенных поверхностей коренных опор блока двигателя КамАЗ-740 использовать гальваническое металлопокрытие сплава железо-никель.

Использование при ремонте деталей в качестве основы металлопокрытия, защищенного никелем, позволяет получать более качественные покрытия и значительно снизить себестоимость восстановления деталей [2, 5].

Для нанесения металлопокрытия на изношенные постели блока двигателя использовались электролит и следующий режим гальванической операции:

Хлорид железа $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , г/л.....	350
Хлорид кальция $\text{CaCl}_2$ , г/л.....	100
pH.....	0,3-1,5
Температура, °С.....	60
Катодная плотность тока, А/дм <sup>2</sup> .....	25

В качестве анода использовались пластины из чистого никеля.

В экспериментах при нанесении металлопокрытия из данного электролита исследовались зависимость показателей качества покрытия от состава электролита (соотношения Fe и Ni) и катодной плотности тока. Анализ экспериментальных данных показывает, что с увеличением плотности тока с 2 до 25 А/дм<sup>2</sup> в металлопокрытиях увеличивается содержание никеля. Для анализа химического состава металлопокрытия железо-никель был применен метод вторично-ионной масс-спектрометрии – (ВИМС) на масс-спектрометре МИ-1305 с приставкой – источником первичных положительных ионов аргона. Анализ масс-спектров вторичных ионов показывает, что на поверхности и в объеме исследуемого металлопокрытия содержание железа составляет ~ 84%, а никеля – 16%. Металлопокрытие железо-никель характеризуется мелкозернистой структурой и хорошими механическими свойствами. Так, предел прочности для металлопокрытия железо-никель с содержанием никеля 16% по данным [3] соответствует  $\sigma_e = 100$  МПа, а микротвердость  $H_u = 450 \div 480$  МПа.

Введение никеля в сплав железо-никель заметно улучшает его механические свойства. Сплавы железо-никель в зависимости от их процентного соотношения обладают высокой твердостью и механической прочностью, что делает перспективным их применение для восстановления изношенных поверхностей деталей машин.

Для обработки постелей в размер  $\varnothing 100$  мм с допуском 0,030 мм и шероховатостью поверхности Ra 1,25 разработана технологическая оснастка, состоящая из регулируемой на размеры  $\varnothing 100$  и 104 мм



развертки для ручного разворачивания с опорными скалками 1, двух установочных корпусов-кронштейнов с шариковыми опорами 2 (рис. 4) и центрирующей оправки с двумя опорами с гидропластом.

Центрирующая оправка с двумя опорами с гидропластом представляет собой ступенчатую оправку, на опоры которой насажены тонкостенные втулки. В полостях опор оправки находится гидропласт марки СМ, состав которого состоит из полихлорвиниловой смолы марки М – 20%, дибутилфталата (в качестве пластификатора) – 78% и стеарата кальция (в качестве стабилизатора) – 2%.

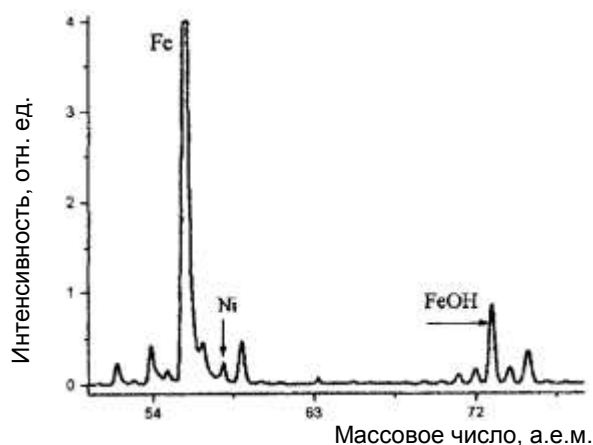


Рис. 2. Участок масс-спектра вторичных ионов из объема образца

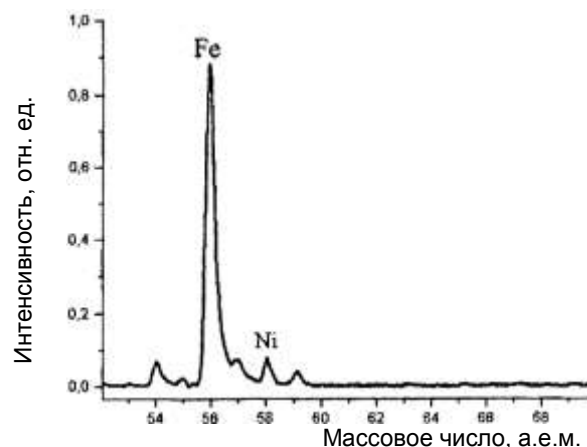


Рис. 3. Участок масс-спектра вторичных ионов из поверхности образца

При вращении и перемещении винтов 5 гидропласт деформирует и разжимает тонкостенную втулку 4, которая центруется по поверхности постели блока двигателя и одновременно центрирует корпусы-кронштейны. Далее после центрирования корпусов-кронштейнов их закрепляют при помощи болтов, которые заворачивают в резьбовые отверстия М12 на торцевых поверхностях блока двигателя. Путем откручивания винтов 5 уменьшают натяг тонкостенных втулок 4, центрирующую втулку удаляют из корпусов-кронштейнов и в их свободные отверстия вводят развертку с торцевыми опорами 6, которые центрируют развертку. Для обработки постелей развертку приводят во вращение по часовой стрелке и перемещают вдоль оси развертки, поочередно обрабатывая все 5 постелей блока.

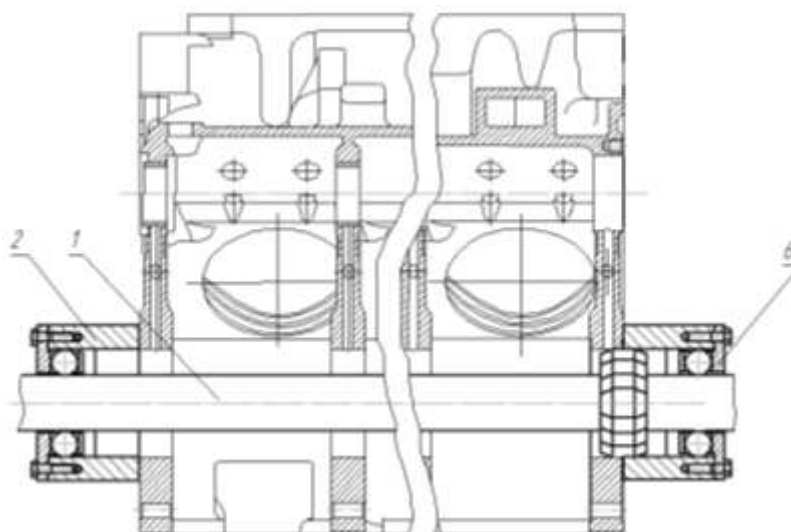


Рис. 4. Обработка отверстий коренных опор под вкладыш коленчатого вала

После обработки откручивают 4 болта правого корпуса-кронштейна и отсоединяют его от блока, вынимая одновременно и развертку. Данная технология ремонта постелей блоков двигателей не требует для обработки сложного и дорогостоящего оборудования (каким является расточной станок) и является перспективной для использования в условиях АТП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асоян А.Р. Метод восстановления коренных опор блоков двигателей автомобилей / А.Р. Асоян, Г.А. Боровиков // Совершенствование технологий и организации обеспечения работоспособности машин: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. 126 с.
2. Ваграмян А.Т. Методы исследования процессов электроосаждения металлов / А.Т. Ваграмян, З.А. Соловьева. М.: АН СССР, 1955. 250 с.
3. Денисов А.С. Обеспечение надежности автотракторных двигателей / А.С. Денисов. Саратов: СГТУ, 2007. 420 с.
4. Курчаткин В.В. Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин. М.: Колос, 2000. 776 с.
5. Черепин В.Г. Вторичная ионная эмиссия металлов и сплавов / В.Г. Черепин, М.А. Васильев. Киев: Наукова думка, 1972. 240 с.

**Денисов Александр Сергеевич** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного технического университета

**Боровиков Герман Александрович** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного технического университета

**Асоян Артур Рафикович** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного технического университета

**Суханкин Андрей Александрович** –  
аспирант кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 629.113.004.67

**А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, В.В. Погораздов,  
Б.Ф. Тугушев, Е.Ю. Горшенина, А.А. Видинеев**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА  
ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ-740 ПРИ РЕМОНТЕ И ВОССТАНОВЛЕНИИ**

*Приведены результаты исследования распределения свойств металла коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 при ремонте и восстановлении наплавочными металлопокрытиями. Даются соответствующие рекомендации по наплавке и механической обработке.*

**A.S. Denisov, A.T. Kulakov, V.V. Pogorazdov,  
B.F. Tugushev, E.Y. Gorshenina, A.A. Vidineev**

**THE PROPERTIES OF KAMAZ-740 ENGINE CRANKSHAFT  
AFTER THE REPAIR AND REBUILDING**

*This is a research of KAMAZ-740 engine crankshaft operation processes. The authors focus on the analysis of the repair and rebuilding this part. Certain recommendations are done here in the article.*

Считается, что коленчатые валы двигателей КамАЗ-740, имеющие размеры шеек ниже второго ремонтного ( $P2$  или  $\varnothing 94_{-0,010}^{+0,015}$  мм – для коренных шеек и  $\varnothing 79_{-0,010}^{+0,015}$  мм – для шатунных шеек [1]), обладают невысокими потребительскими свойствами по причинам снижения твердости, уменьшения последующих межремонтных пробегов, увеличения вероятности поломки. В работе приведены результаты исследования распределения микротвердости металла в различных зонах шатунных шеек размера  $P2$ , закаленных ТВЧ. Коленчатый вал двигателя КамАЗ-740 изготовлен из стали 42ХМФА ТУ 14-1-1296-75. Образцы вырезались непосредственно из детали при помощи углошлифовальной машины компании STERN модели AG125B мощностью 900 Вт, оснащенной отрезным кругом  $\varnothing 115$  мм толщиной 0,8 мм ГОСТ 21963-2002. Частота вращения шпинделя составляла  $11000 \text{ мин}^{-1}$ , подача – ручная при обильном охлаждении водой разбрызгиванием, цвета побежалости отсутствовали. Подобная методика описана в [2]. Далее образцы помещались в форму и заливались эпоксидной смолой с отвердителем. После отверждения они обрабатывались вручную на шлифовальной бумаге и полировались [2]. Исследуемая поверхность была предварительно равномерно размечена двенадцатью линиями, вдоль которых проводилось измерение микротвердости с шагом 0,25 мм на глубину 8 мм (начало отсчета линий – на расстоянии 32 мм от галтели вдоль образующей, конец отсчета – на расстоянии 5 мм выше галтели) Использовался прибор ПМТ-3, оснащенный окуляром-микрометром МОВ-1-15. Измерения проводились по методу восстановленного отпечатка в соответствии с ГОСТ 9450-76. Индентором служила алмазная четырехгранная пирамида с квадратным основанием, нагрузка на нее составляла 1,96 Н. Результаты приведены на рис. 1.

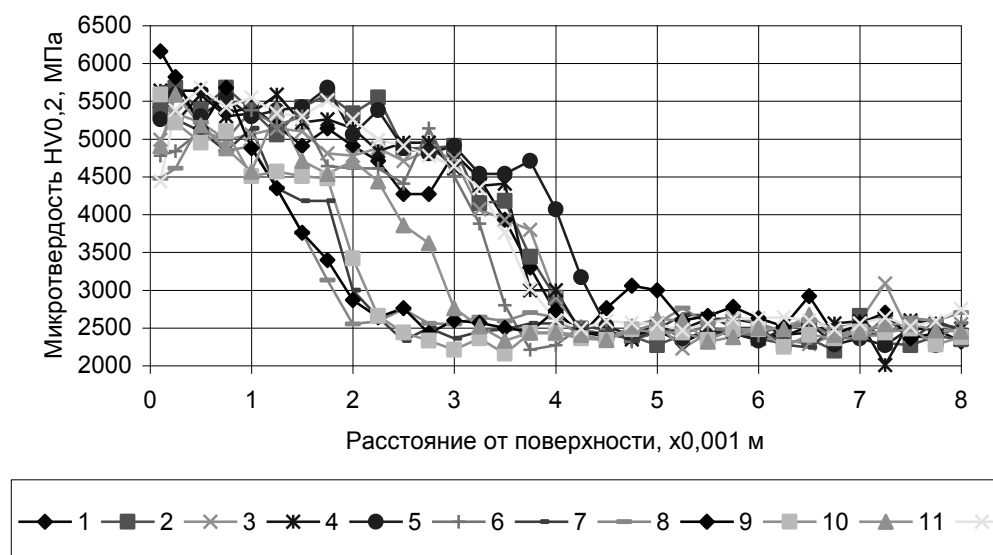


Рис. 1. Графики распределения микротвердости по глубине шатунной шейки коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 вдоль соответствующих линий измерения

Таким образом, закаленный до 4500...5500 МПа слой шейки размером  $P2$  распространяется на глубину до 3 мм, после чего микротвердость плавно снижается и на глубине 4,5 мм становится равной 2300...2800 МПа – твердости незакаленного металла.

При дальнейшей перешлифовке на  $P3$  и  $P4$  (см. [1]) мы не увидим снижения твердости рабочей поверхности шейки. В галтели глубина закаленного слоя распространяется в среднем до 1,25 мм и она будет уменьшаться при дальнейшей механической обработке. Выше галтели глубина закаленного слоя – 2,25...3 мм. Таким образом, можно предположить, что перешлифовка на последующие ремонтные размеры  $P3$  и  $P4$  не повлияет на износостойкость детали, но малая толщина закаленного слоя в галтели понизит ее прочность, в том числе усталостную.

В технологически развитых странах мира, таких как США, Япония, Италия и ряде других, принята концепция восстановления коленчатых валов дизельных двигателей с использованием металлпокрытий, наносимых наплавкой под флюсом при последовательном применении двух проволок, различных по химическому составу и свойствам (отдельно для рабочих поверхностей шеек и для

галтелей) [3, 4]. Эта технология получила название Глисон-процесс. Основные свойства металлопокрытий на шейке вала представлены на рис. 2 [4].

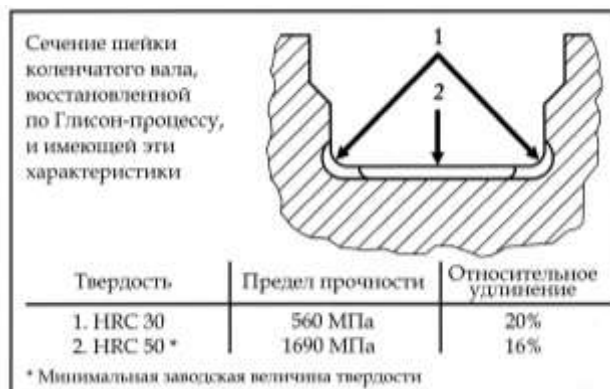


Рис. 2. Свойства металла коленчатого вала после восстановления

План операций этого технологического процесса приведен в [4, 5].

В Саратовском государственном техническом университете было проведено исследование по наплавке коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 порошковой проволокой ПП-Нп-35В9Х3СФ-Т-Ф-3,6 ГОСТ 26101-84 под плавным флюсом АН-348-А ГОСТ 9087-81 с целью получения твердости, соответствующей техническим условиям завода-изготовителя. Технологическая операция проводилась на переоборудованном токарно-винторезном станке модели 1К62 с наплавочной головкой А-580М и источником питания дуги ВДУ-506. Элементы режима наплавки: напряжение дуги – 28...32 В, величина тока дуги – 250...270 А, скорость подачи проволоки – 49 м/ч, скорость наплавки – 12...15 мм/с, шаг наплавки – 7 мм/об. Образцы подвергались последующему отпуску при 500°С в течение 1 часа.

Галтели наплавлялись на предварительно подогретую до 200...230°С поверхность проволокой 1,6 Нп-30ХГСА ГОСТ 10543-98. Напряжение дуги - 28...30 В, величина тока дуги – 160 А, скорость подачи проволоки - 184 м/ч, скорость наплавки – 10...12 мм/с, шаг наплавки – 5...7 мм/об. Микротвердость измерялась по глубине по методике, указанной выше. Результаты приведены на рис. 3. Там же для сравнения приведено распределение микротвердости металла ненаплавленной шейки, закаленной ТВЧ.

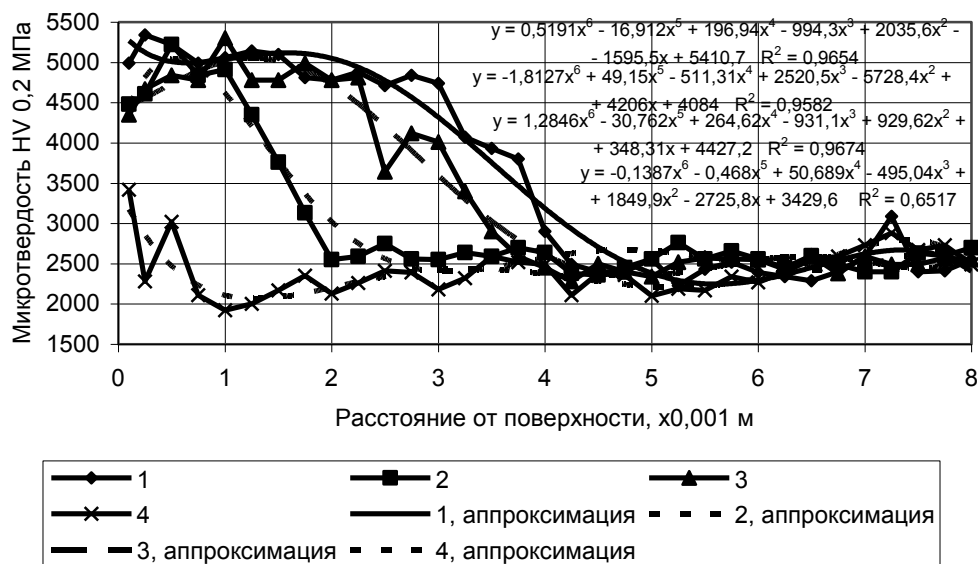


Рис. 3. Распределение микротвердости: 1 – вдоль радиуса рабочей поверхности ненаплавленной шейки; 2 – вдоль радиуса галтели ненаплавленной шейки; 3 – после наплавки рабочей поверхности шейки ПП-Нп-35В9Х3СФ и последующего отпуска при 500°С в течение 1 ч; 4 – после наплавки Нп-30ХГСА на предварительно подогретую до 200...230°С поверхность галтели

В лаборатории резания Саратовского государственного технического университета проводилось исследование механической обработки наплавленных покрытий лезвийным инструментом. В качестве технологического оборудования использовался токарно-винторезный станок модели 1К62. Для обработки оказалось целесообразным рекомендовать двухкарбидный твердый сплав марки Т5К10, хорошо сопротивляющийся ударным нагрузкам из-за неравномерного припуска. Для обработки в условиях «спокойного» резания хорошо подходит сплав Т15К6, отличающийся высокой износостойкостью и достаточной прочностью режущих кромок. Для снятия корки с наплавленных слоев целесообразно использовать резец с пластиной из твердого сплава Т5К10. Корку необходимо снимать за один проход с глубиной резания  $t$ , учитывающей неровности припуска, на подаче  $S$  не более 0,25 мм/об и скорости резания  $V = 70 \dots 80$  м/мин. Подача в данном случае ограничивается прочностью пластинки твердого сплава, а скорость выбирается за границей наростообразования и интенсивного «схватывания» на передней поверхности инструмента. Для предварительной обработки наплавленных слоев, когда выполняется основная работа при устойчивом точении без ударов, рекомендуется резец с пластинкой из твердого сплава Т15К6. При этом для определения оптимальной скорости резания  $V_{opt}$ , обеспечивающей минимум относительного износа, следует воспользоваться зависимостью:

$$V_{opt} = (1,62 / t^{0,11} S^{0,22})^{1/0,25}, \text{ м/мин,}$$

где  $t$  – в мм,  $S$  – в мм/об.

#### Выводы

Для коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 наплавка центральной части шейки порошковой проволокой марки ПП-Нп-35В9Х3СФ с последующим отпуском при 500°С в течение 1 часа и наплавка галтелей проволокой сплошного сечения марки Нп-30ХГСА с предварительным подогревом детали до 200...230°С позволяют получить распределение микротвердости по сечению близкое к показателям новой детали или имеющей ремонтный размер в результате перешлифовки, а также к показателям современных технологий, применяемых за рубежом для восстановления коленчатых валов дизелей металлопокрытиями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Азаматов Р.А. Восстановление деталей автомобилей КамАЗ / Р.А. Азаматов, В.Г. Дажин, А.Т. Кулаков, А.И. Модин; под ред. В.Г. Дажин. Набережные Челны: КамАЗ, 1994. 215 с.
2. Болховитинов Н.Ф. Атлас макро- и микроструктур металлов и сплавов: 2-е изд. / Н.Ф. Болховитинов, Е.Н. Болховитинова. М.: Машгиз, 1959. 88 с.
3. Тугушев Б.Ф. Мировая практика восстановления коленчатых валов / Б.Ф. Тугушев // Восстановление и упрочнение деталей машин: межвуз. науч. сб. / Саратов. гос. тех. ун-т. Саратов, 2001. С. 69-85.
4. Горшенина Е.Ю. Современные технологии восстановления коленчатых валов / Е.Ю. Горшенина, Б.Ф. Тугушев // Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности (МНПК «ЛЭРЭП-2-2007»): сб. науч. трудов по материалам Междунар. науч.-практ. конф., 12-15 сентября 2007 г. Т. 2 / Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов, 2007. С. 233-237.
5. Тугушев Б.Ф. Американская концепция восстановления тяжело нагруженных коленчатых валов дизельных двигателей / Б.Ф. Тугушев // Актуальные проблемы транспорта Поволжья и пути их решения: межвуз. науч. сб. / Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов, 2001. С. 136-149.

**Денисов Александр Сергеевич** –

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного технического университета

**Кулаков Александр Тихонович** –

доктор технических наук,  
заместитель генерального директора ОАО «КамАЗ-Дизель», г. Набережные Челны

**Погораздов Валерий Васильевич** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Тугушев Борис Федорович** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного технического университета

**Горшенина Екатерина Юрьевна** –

аспирант кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного технического университета

**Видинеев Александр Александрович** –

главный инженер  
Саратовского государственного технического университета

УДК 658.52.011.56.012

**В.А. Добряков**

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИБКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ**

*Рассматривается единый (системный) подход к описанию процессов в автоматизированных металлорежущих станках для оценки их технического состояния на различных этапах жизненного цикла, что служит основой создания и совершенствования системы гибкого обслуживания станков по состоянию.*

**V.A. Dobryakov**

### **PERFECTION OF FLEXIBLE SERVICE ON A CONDITION AT OPERATION OF TECHNOLOGICAL OBJECTS OF MANAGEMENT**

*The uniform (system) approach to the description of processes in the automated metal-cutting machine tools for an estimation of their technical condition at various stages of life cycle that forms a basis of creation and perfection of system of flexible service of machine tools on a condition is considered.*

Перед современной машиностроительной промышленностью стоят задачи, связанные с увеличением производства высококачественной продукции, что, в первую очередь, связано с внедрением и эффективной эксплуатацией технологических объектов управления с различным уровнем автоматизации основных и вспомогательных операций.

Среди указанных объектов особое место занимают автоматизированные прецизионные металлорежущие станки, на которых производятся изделия, предназначенные для производства продукции самых наукоемких отраслей отечественной промышленности.

Данная работа посвящена созданию методологии повышения эффективности эксплуатации прецизионных станков на основе разработки и совершенствования системы гибкого обслуживания, элементы которой учитываются на этапе проектирования станков, встраиваются в их конструкцию на этапе изготовления и позволяют повышать эффективность высокоточных станков на этапе эксплуатации.

Современные прецизионные металлорежущие станки (МРС) принадлежат к категории динамических систем (ДС). ДС – это некоторая структура, представляющая собой совокупность взаимосвязанных элементов различной природы, предназначенная для выполнения определенных операций и осуществляющая направленный процесс преобразования во времени материи (вещества, энергии) и информации.

Функционирование сложной динамической системы происходит при действии различных случайных факторов как со стороны внешней среды, так и естественно возникающих внутри нее случайных возмущений, отказов. Внешняя среда, в которой функционирует система, может вносить неопределенность, случайность исходных данных, ситуаций, случайным образом изменять характер взаимодействия между составными частями. Внутри системы также могут возникать случайные возмущения, представляющие собой ошибки измерения, преобразования информации, действие различного рода помех вследствие проявления принципиально неучтенных объективно действующих причин. Таким образом, процессы, протекающие в динамической системе, вследствие неопределенности ситуаций и случайных возмущений, принципиально являются стохастическими.

Известно, что эффективность функционирования МРС зависит от их технического состояния. В процессе эксплуатации, если не применять специальных мер, техническое состояние МРС как ДС ухудшается. В связи с этим возникает проблема управления техническим состоянием станков. Эта проблема включает следующие общие аспекты: рациональная организация контроля и диагностирования технического состояния, эффективные методы диагностирования и прогнозирования, определение моментов проведения технического обслуживания и профилактического ремонта (восстановления), надежные методы испытаний станков, т.е. проблема гибкого обслуживания по состоянию станков [1].

Теоретическое решение задач базируется на достаточно молодой науке – технической диагностике, которая начала развиваться с середины 60-х годов XX в. Эта отрасль знаний, исследующая принципы, способы и устройства оценки состояния технических систем, направлена на повышение эффективности и качества работы исследуемых объектов. Ее основной задачей является определение технического состояния (ТС) контролируемого объекта с точки зрения правильности выполнения возложенных на него функций [2].

Практическое решение проблемы достигается путем разработки автоматизированной системы контроля и диагностирования, включающей соответствующие средства методического, аппаратного, метрологического и программно-математического обеспечения, которые учитывают особенности объекта исследования.

В работе использован не применявшийся ранее единый (системный) подход к описанию процессов в МРС для оценки их ТС на различных этапах жизненного цикла и на этой основе разработанная концепция организации контроля, диагностирования и испытаний МРС для повышения их функциональной и параметрической надежности [3].

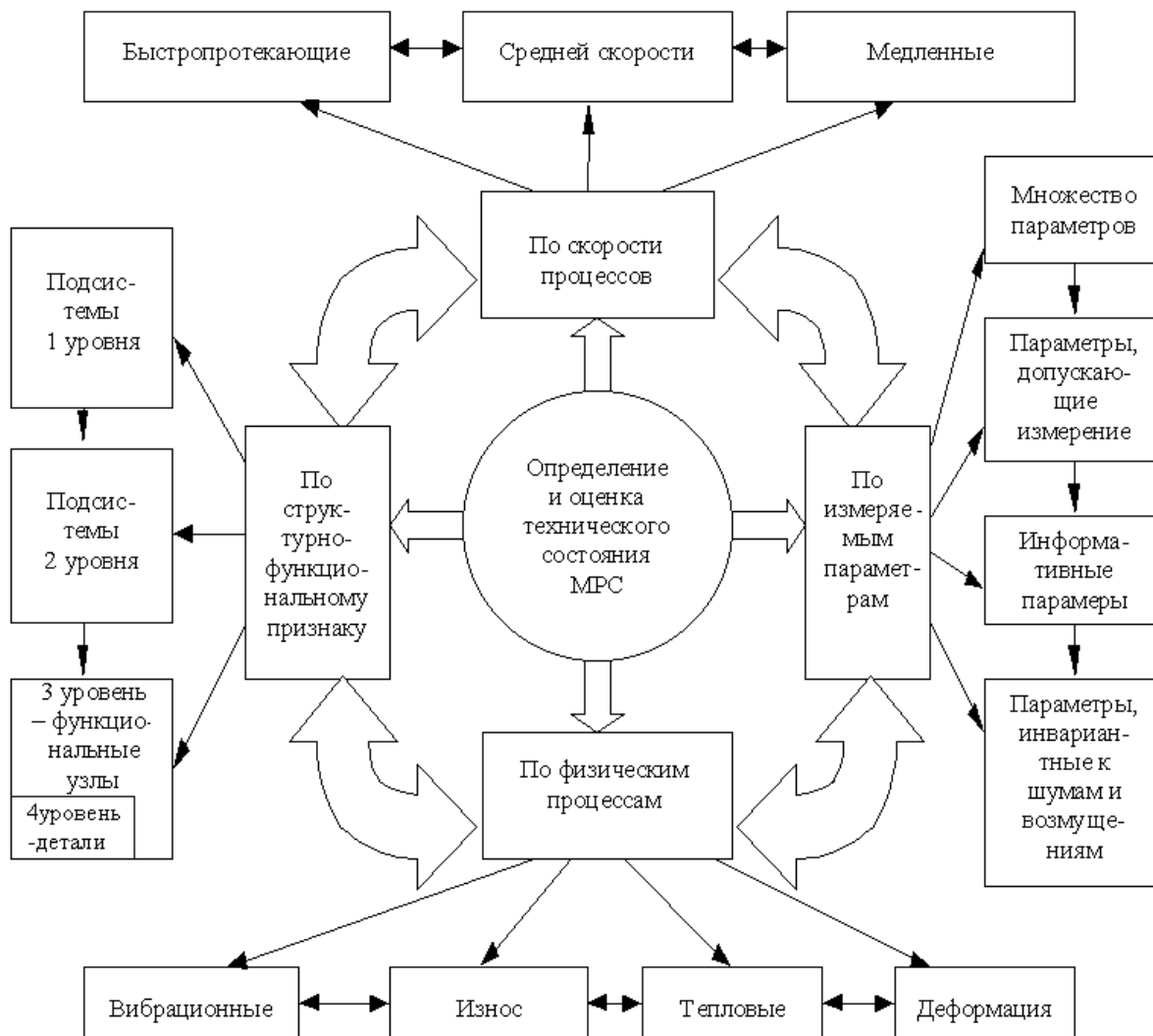
В этой связи формулировку диагностической модели, используемой, кроме диагностирования, и при контроле и испытаниях, суть которой сводится к созданию теоретической основы определения и оценки технического состояния МРС, целесообразно представить в виде соответствующей концепции, построенной с учетом системных свойств станка как объекта диагностирования (контроля, испытаний) (рисунок).

Анализ источников научно-технической информации по проблеме организации контроля и диагностирования и опыт собственных исследований, изложенные в [1-3], позволяют представить данную концепцию как совокупность четырех взаимосвязанных аспектов решаемых задач, характеризующихся иерархической структурой функциональных подсистем МРС или пересекающимися подмножествами измеряемых параметров (сигналов) станка либо различными скоростью или свойствами физических процессов, протекающих в его подсистемах.

С учетом опыта исследований разработана концепция единого (системного) подхода к организации диагностирования, испытаний, контроля и сертификации прецизионных МРС для повышения их точности и надежности в виде многоуровневой структуры. Этапы жизненного цикла станков представлены в ней как уровни организации, причем на каждом из них выделены подуровни, которые являются конечным результатом работ, выполненных на данном уровне. Например, на уровне «разработка» выделены подуровни проектирование станка (ПС) и экспериментальный образец (ЭС), «изготовление» – опытный (ОС) и серийный (СС) образцы станка; «эксплуатация» – техническое обслуживание (ТО) и предупредительный ремонт (ПР), а результатом, например, являются организация и совершенствование системы технического обслуживания и предупредительного ремонта (СТО и ПР).

Каждая операция, связанная с анализом состояния станка, представляет собой определенную совокупность действий (накопление данных для моделирования объектов, построение системы контроля, диагностирования и испытаний и т.д.), суть которых раскрывается в зависимости от уровня организации. Такой структурный разрез создания новых и модернизации эксплуатирующихся МРС

позволяет проследить процесс накопления информации о состоянии объекта и определить целесообразные направления его совершенствования.



Концепция определения и оценки технического состояния МРС

На уровне разработки для успешной реализации новых технических решений узлов прецизионных МРС необходимо не только использовать современные средства автоматизированного расчета и проектирования, но и определить основные узлы и их характеристики, которые следует контролировать в дальнейшем, выявить возможные дефекты конструкции и выбрать рациональные диагностические параметры, по которым осуществить конструкторскую проработку встраиваемых в станок и средств диагностирования (СД), а также выполнить ряд испытаний отдельных узлов для уточнения расчетных значений параметров и моделей, причем в ряде случаев более целесообразным является использование не детерминированных, а статистических методов [1]. На основе разработанных моделей, исследований и испытаний (в том числе станков – прототипов) выявляются факторы, оказывающие наиболее сильное влияние на станок, определяются пути создания серийного образца.

Одним из наиболее эффективных методов оценки технического состояния машин (станков, роторных систем, электромеханических устройств циклического действия и т.п.) является контроль вибраций их основных узлов в процессе эксплуатации [3]. Эффективность методов контроля вибрационных характеристик обусловлена не только тесной связью динамических процессов в указанных объектах с информацией, содержащейся в виброакустических сигналах, но и с возможностью автоматизации процессов измерения и их обработки с помощью современной измерительной и компьютерной техники.



Таким образом, опыт исследования вибраций объектов машиностроения различных типов, накопленный в СГТУ, показывает, что результаты измерения и анализа виброакустических колебаний следует использовать для решения следующих задач повышения эффективности эксплуатации технологических объектов:

- 1) мониторинг технического состояния объектов для организации технического обслуживания по состоянию – гибкого технического обслуживания;
- 2) диагностирование основных узлов объектов машиностроения для локализации дефектов;
- 3) управление качеством изготовления продукции и ремонта технологических объектов;
- 4) оптимизация режимов функционирования объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков / А.А. Игнатъев, М.В. Виноградов, В.В. Горбунов, В.А. Добряков. Саратов: СГТУ, 1999. Ч. 3. 124 с.
2. Контроль в системах автоматизации технологических процессов / А.А. Игнатъев, М.В. Виноградов, В.А. Добряков и др. Саратов: СГТУ, 2001. 124 с.
3. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А. Игнатъев, М.В. Виноградов, В.В. Горбунов и др. Саратов: СГТУ, 2004. 124 с.

**Добряков Владимир Анатольевич** –  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 625.144.6:621.924

**Д.Г. Евсеев, А.А. Скороход**

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ

*Рассматриваются особенности шлифования рельсов при использовании специальных рельсошлифовальных дорожных машин отечественного производства, когда обработка осуществляется одновременно 48 шлифовальными кругами. Приводятся пути повышения производительности процесса, обосновывается возможность их применения в столь экзотическом случае.*

**D.G. Yevseev, A.A. Skorokhod**

#### EFFECTIVENESS INCREASE OF RAIL GRINDING

*The article examines the features of rail grinding operation with use of special rail-grinding road machines manufactured in Russia. Processing is performed with the help of 48 grinding wheels working simultaneously. Methods of effectiveness increase are discussed with substantiation of their use in such a rare case.*

В процессе эксплуатации железнодорожный путь испытывает существенные нагрузки в результате динамического взаимодействия с подвижным составом. В результате этого взаимодействия на поверхности головки рельса появляется слой наклёпа, в котором зарождаются очаги усталостного разрушения, с увеличением пропущенного тоннажа растёт глубина волнообразных неровностей пути, головка рельса теряет первоначальную форму [1]. Все вышеперечисленные явления негативно влия-

ют на плавность хода подвижного состава, ухудшают условия контактного взаимодействия пары трения колесо-рельс, ведут к росту аварийности при эксплуатации железнодорожного транспорта.

На сегодняшний день проблема поддержания рельсов, уложенных в путь, в состоянии, обеспечивающем безопасность движения с проектными скоростями, решается применением специальных путевых машин. Различными способами они удаляют с поверхности рельса металл, чем достигается восстановление профиля, либо перепрофилирование рельса для создания более благоприятных условий контактного взаимодействия колеса с рельсом, удаление дефектного наклёпанного слоя во избежание зарождения и развития усталостных разрушений, предельная минимизация глубины волнообразных неровностей с целью повышения плавности хода и максимально допустимой скорости движения подвижного состава.

На железных дорогах России активно эксплуатируется такая специальная путевая машина, как рельсошлифовальный поезд РШП-48, призванный решать круг описанных выше задач. Удаление металла с поверхности рельса производится одновременно с помощью 48 шлифовальных кругов, имеющих маркировку 250×75×150 ZK 40 ВТ БУ 50 м/с. Каждый шлифовальный круг имеет собственные независимые привод и механизм, прижимающий инструмент к обрабатываемой поверхности. Стоит отметить тот факт, что в каждой ТС реализована адаптивная система управления, поддерживающая постоянной токовую нагрузку двигателя за счёт изменения усилия прижатия. Привод, механизм прижима, приспособление для установки и закрепления инструмента, смонтированное на роторе электродвигателя, и шлифовальный круг представляют собой технологическую систему (далее ТС), в которой реализована схема плоского силового шлифования торцом круга. Поезд связывает 48 подобных систем в единое целое, сообщая каждой равную скорость движения продольной подачи, которая по данным производителя составляет 1,1-2,2 м/с. Для обеспечения возможности восстановления профиля либо перепрофилирования пути каждая ТС имеет возможность поворачиваться в плоскости поперечного сечения рельса на некоторый угол, пределы которого составляют  $-10^\circ$  при повороте внутрь пути и  $+60^\circ$  при повороте наружу. Все ТС поезда смонтированы на шести шлифовальных тележках, представляющих собой рамные конструкции, на которых крепятся основные и вспомогательные (например, огнезащитные приспособления) узлы ТС. Тележки подразделяются на выхаживающие и профилирующие. Различие заключается в том, что электродвигатели ТС выхаживающих тележек получают на 2-3 А токовой нагрузки больше и отклоняются от оси симметрии поперечного сечения рельса на меньшие по значению углы ( $-10^\circ \dots +10^\circ$ ), чем ТС профилирующих тележек. Это связано с различием функций, выполняемых ТС выхаживающих и профилирующих тележек. Совокупность ТС выхаживающих тележек предназначена для уменьшения глубины волнообразных неровностей на поверхности катания рельса, а ТС профилирующих тележек существенно меняют профиль поперечного сечения рельса, осуществляя его восстановление либо перепрофилирование. Обработка пути осуществляется по программе шлифования (далее ПШ), задаваемой оператором. ПШ представляет собой два независимых одномерных массива данных с размерностью 48: один из них задаёт каждой ТС угол наклона относительно оси симметрии поперечного сечения рельса, другой определяет для электродвигателя каждой ТС потребляемую силу тока, которую поддерживает постоянной адаптивная система управления. Для полной обработки пути РШП-48 необходимо выполнить от двух до семи проходов при рабочей скорости поезда 1,4-1,67 м/с, а протяжённость пути, ремонтируемого за год одним рельсошлифовальным поездом, находится в диапазоне от 1600 до 1800 км (всего в РФ 85 тыс км железных дорог общего пользования). Так, если считать Транссибирскую магистраль двухпутной на всей протяжённости в 9288 км, то для проведения ремонтных работ, связанных с рельсошлифованием, к примеру, десятью поездами РШП-48 потребуется один год. В это время магистраль будет работать с половинной пропускной способностью, что составит полгода фактического простоя. Очевидно, что повышение производительности РШП-48 является весьма перспективным с точки зрения получаемого экономического эффекта в результате сокращения времени простоя железнодорожной ветки, на которой проводятся ремонтные работы.

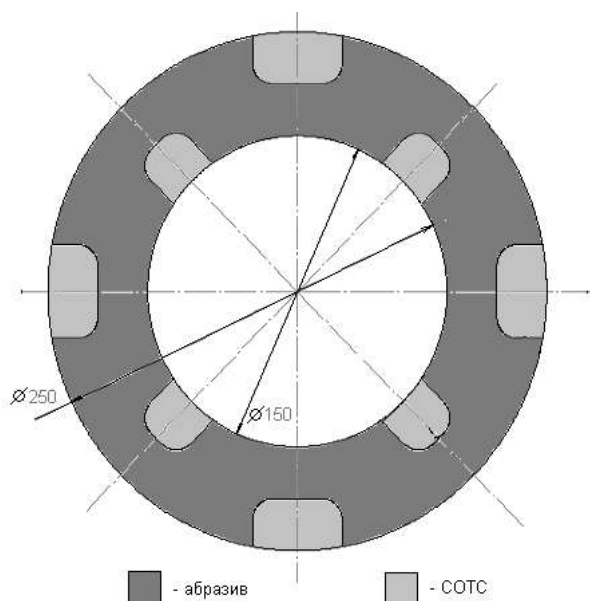
В качестве основных направлений повышения производительности шлифования в современном производстве рассматриваются форсирование режимов резания, подбор смазывающе-охлаждающего технологического средства (далее СОТС) с оптимальным балансом теплоёмкости и смазывающих свойств.

При совместных исследованиях, проводимых сотрудниками Московского государственного университета путей сообщения (далее МГУПС) и ОАО «Калужский завод «Ремпутьмаш»», было

установлено, что увеличение скорости движения продольной подачи ведёт к пропорциональному уменьшению количества металла, удаляемого с поверхности рельса, и увеличению числа проходов, необходимых для полной обработки участка пути. При этом значение фактической производительности остаётся неизменным.

На основе анализа производства и эксплуатации шлифовальных кругов с прерывистой поверхностью сделан вывод о том, что адаптация данного решения к плоскому силовому шлифованию торцом круга может дать существенное повышение производительности и позволит исключить возможность структурных превращений в металле рельса, что обеспечивается значительным снижением остаточной температуры обработанной поверхности, отмеченным во всех случаях применения прерывистого абразивного инструмента [2]. Существенным плюсом такого решения также является возможность предельно упростить механизм подачи СОТС в зону резания за счёт размещения смазки в пазах круга. В ходе проведённых исследований были установлены оптимальные количество, форма, расположение и геометрические характеристики пазов (рисунок).

В данном случае существует возможность применения только твёрдых СОТС. Смазочные элементы внутреннего диаметра удерживаются в процессе обработки за счёт действующих на них центробежных сил, а смазочные элементы наружного диаметра удерживаются ровингом (в маркировке У – упрочняющий элемент), который представляет собой нить из стекловолокна, наматываемую на наружный диаметр круга после его сборки. Исследования показали, что мощность тепловыделения при обработке не позволяет применять твёрдые комбинированные СОТС на основе легкоплавких органических смол, восков и парафинов в смеси с порошком пирографита [3]. Было предложено использовать пирографит в чистом виде, при этом смазывающие элементы представляют собой бруски соответствующих размеров, вклеивающиеся в пазы во избежание их выпадения при следовании РШП-48 в транспортном режиме.



Общий вид торца модернизированного абразивного инструмента

Из приведённого выше можно сделать следующие выводы:

- при эксплуатации пути рельсы накапливают геометрические и структурные изменения, что негативно влияет на скорость и безопасность перевозок;
- данная проблема решается проведением ремонтных работ различных видов, наиболее эффективным из которых является профильное шлифование рельсов, уложенных в путь;
- отечественный образец рельсошлифовального оборудования представляет собой весьма высокотехнологичную систему, в которой исчерпаны практически все возможности существенного повышения производительности;
- модернизация геометрии и применение специальной СОТС является наиболее перспективным направлением повышения производительности рельсошлифовального поезда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Профильное шлифование рельсов / А.Ю. Абдурашитов, Л.Г. Крысанов, В.Б. Каменский и др. М.: Транспорт, 2001. 79 с.
2. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования / А.В. Якимов. М.: Машиностроение, 1977. 176 с.
3. Худобин Л.В. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке / Л.В. Худобин, Е.Г. Бердичевский. М.: Машиностроение, 1977. 189 с.

**Евсеев Дмитрий Геннадьевич** –

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения» Московского государственного университета путей сообщения

**Скороход Антон Анатольевич** –

ассистент кафедры «Технология транспортного машиностроения» Московского государственного университета путей сообщения

УДК 681.51

**В.Л. Заковоротный, Фам Динь Тунг**

**УСТОЙЧИВОСТЬ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ТРАЕКТОРИИ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ С ТРИБОСРЕДОЙ**

*Рассматриваются условия потери устойчивости движения механической системы, взаимодействующей со средой, формируемой в трибосопряжении. Показаны условия формирования и роль диссипативных, гироскопических, потенциальных и циркуляционных сил, формируемых в узле трения естественным образом и изменяющихся в ходе эволюционных преобразований.*

**V.L. Zakovorotny, Pham Dinh Tung**

**THE EVOLUTION TRAJECTORY STABILITY FOR MECHANICAL SYSTEM  
INTERACTING WITH TRIBOMEDIA**

*Conditions of motion stability loss is considering relative to mechanical system, interacting with media, forming in tribocoupling. Conditions of forming and role of dissipative, gyroscopic, potential and circular forces, which formed naturally in tribocoupling and changed in evolution transformation, are shown.*

**Введение.** Для обеспечения движения элементов машин и механизмов во многих случаях необходимо решать вопросы устойчивости движения. При этом, как правило, некоторый элемент машины взаимодействует с узлом трения. В свою очередь, в зоне, находящейся между контактирующими поверхностями, формируется диссипативная среда, образующая динамическую связь [1-3]. Основные динамические свойства такой системы можно раскрыть на основе использования «базовой» динамической модели трибосистемы [4], рассматривающей смещение индентора, подвешенного с помощью упруго-диссипативных подвесок к абсолютно жёсткому основанию. Индентор в базовой модели представляется в виде сосредоточенной массы. Поэтому изгибные колебания его поверхности не учитываются. В свою очередь, образец также обладает большой массой и считается недеформируемым (рис. 1). Он движется со скоростью  $V = \text{const}$  задаваемой от внешнего источника. Тогда уравнение движения такой системы можно представить в виде

$$m \frac{d^2 X}{dt^2} + h \frac{dX}{dt} + cX = F(X, \frac{dX}{dt}, V, p) + U, \quad (1)$$

где  $X = \{X_1, X_2\}^T$  – вектор состояния системы, координаты которого показывают текущие значения положения поверхности индентора в трибосреде (формируемой в процессе относительного скольжения переходной области между контактирующими поверхностями);  $F(X, \frac{dX}{dt}, V, p) = \{F_1(X, \frac{dX}{dt}, V, p), F_2(X, \frac{dX}{dt}, V, p)\}^T$  – вектор-функция, раскрывающая зависимость сил контактного взаимодействия от координат состояния, её свойства определяются формируемой в процессе трения переходной областью между индентором и образцом, названной трибосредой;  $p = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$  – параметры, конкретизирующие нелинейные вектор-функции;  $m, h, c$  – положительно определённые симметричные матрицы размерности  $2 \times 2$  соответственно обобщенных масс, коэффициентов демпфирования и жесткости. В рассматриваемой модели дополнительно  $m$  является диагональной;  $U$  – вектор внешних силовых воздействий. В статье рассматривается случай, когда  $U = \text{const}$  и  $V = \text{const}$ . Здесь и далее символ  $\{\dots\}^T$  означает операцию транспонирования.

Трибосреда и, следовательно, параметры  $p$  формируются в результате работы сил контактного взаимодействия и свойства трибосреды определяются текущим значением мощности необратимых преобразований в контактной области с учётом её предыстории изменения. Следовательно, свойства трибосреды зависят от траектории мощности необратимых преобразований в контактной области по совершаемой работе. Поэтому параметры  $p$  можно представить в виде интегрального оператора

$$p_i(A) = p_{i,0} + \alpha_i^{(1)} A + \alpha_i^{(2)} \int_0^A w_i^{(1)}(\zeta - A) N(\zeta) d\zeta + \alpha_i^{(3)} \int_0^A w_i^{(2)}(A - \zeta) N(\zeta) d\zeta, \quad (2)$$

где  $w_i^{(1)}(\zeta - A), w_i^{(2)}(\zeta - A)$  – ядра интегральных операторов;  $p_{i,0}$  – исходное значение параметра;  $\alpha_i^{(1)}, \alpha_i^{(2)}, \alpha_i^{(3)}$  – коэффициенты;  $A, N$  – работа и мощность необратимых преобразований в зоне контакта, то есть  $N(A)$  – фазовая траектория в плоскости работа – мощность.

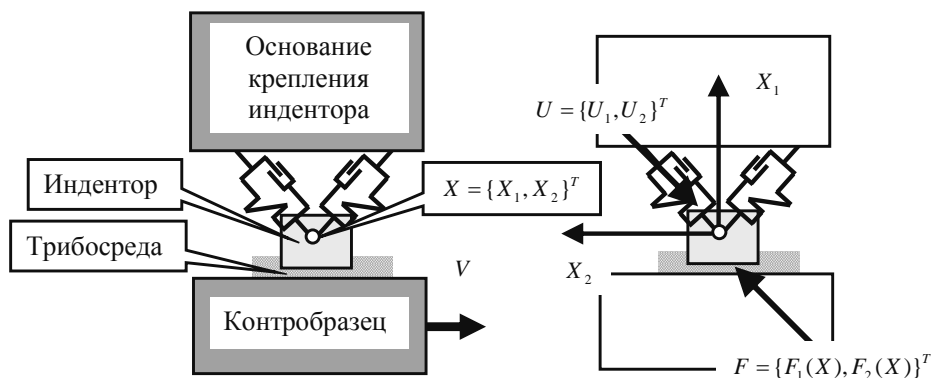


Рис. 1. Схема «базовой» динамической модели узла трения

Ядра интегральных операторов моделируют две противоположные тенденции в изменениях параметров системы. Первый интегральный оператор характеризует процесс стабилизации свойств контакта и выхода динамической системы на некоторый стационарный режим. Это установление равновесной шероховатости, стационарного трибохимического обмена между поверхностями контактируемых тел и трибосредой, установление стационарного гидродинамического процесса в контактной области в случае граничного трения и пр. Этот процесс характеризуется, как правило, уменьшением переходной области между контактируемыми поверхностями. Второй характеризует деградацию контактной области и в итоге установление режима катастрофического изнашивания поверхностей, влияющего на параметры  $p$ . Он характеризуется непропорционально быстрым увеличением переходной области – трибосреды.

В статье рассматривается случай, для которого справедливо  $V \gg dX_2 / dt$ , то есть изменение знака текущей скорости относительного скольжения отсутствует. Наиболее важные свойства вектор функций  $F(X, dX / dt, V, p)$  для этого случая заключаются в следующем [1-3]:

–  $F_1(X, dX/dt, V, p) = F_1(X_1, V, p)$ , то есть нормальная составляющая силы контактного взаимодействия зависит от сближения поверхностей и не зависит от стационарного смещения индентора относительно образца в тангенциальном направлении;

–  $F_2(X, dX/dt, V, p) = F_2[Y, (dX_2/dt + V), p]$ ,  $Y = X_1(t - \tau)$ , то есть изменение тангенциальной силы запаздывает по отношению к изменению её нормальной составляющей. Кроме этого, тангенциальная сила зависит от текущего значения скорости относительного скольжения и возможны её значения, при которых увеличению скорости соответствует уменьшение силы  $F_2$ .

Параметры  $p$  фактически есть коэффициенты аппроксимации рассматриваемых нелинейных функций. Они обладают свойством эволюционной изменчивости. Однако в пределах импульсных реакций системы их можно считать постоянными, а эволюционную систему при заданной работе – замороженной. В связи с этим имеется возможность ввести в рассмотрение понятие стационарной эволюционной траектории  $X^*(A)$ , которая удовлетворяет следующим требованиям:

$$cX^* = F(X^*, 0, V, p) + U; \quad (3)$$

$$p_i(A) = p_{i,0} + \alpha_i^{(1)}A + \alpha_i^{(2)}V \int_0^A w_i^{(1)}(\zeta - A)F_2(\zeta)d\zeta + \alpha_i^{(3)}V \int_0^A w_i^{(2)}(A - \zeta)F_2(\zeta)d\zeta, \quad (4)$$

где  $p_i(A)$  – эволюционная траектория  $i$ -го параметра. Следовательно, в параметрическом пространстве  $P^k$  мы имеем медленно изменяющуюся траекторию  $p(A) \in P^k$ , которой соответствует медленно меняющаяся эволюционная траектория  $X^*(A)$ . В ходе эволюции система (1) может потерять устойчивость. Тогда в окрестности эволюционной траектории  $X^*(A)$  формируются многообразия (орбитально асимптотически устойчивые предельные циклы, инвариантные торы, хаотические аттракторы). Однако для их анализа необходимо раскрывать нелинейные вектор-функции  $F(X, \frac{dX}{dt}, V, p)$ , что будет сделано в

следующих наших публикациях. Здесь важно подчеркнуть, что с помощью уравнений (3) и (4) можно вычислить траектории  $X^*(A)$  и  $p(A) \in P^k$ , а затем уже анализировать их устойчивость, причём траектории  $X^*(A)$  и  $p(A) \in P^k$  всегда существуют, так как уравнение (3) характеризует квазистатику.

Для изучения же условий потери устойчивости  $X^*(A)$  необходимо рассмотреть уравнение в вариациях относительно этой траектории. Тогда для вариаций  $x(t)$ , то есть  $X(t) = X^* + x(t)$ , имеем систему в вариациях относительно  $X^*$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + cx = \varphi(X^*, x, \frac{dx}{dt}), \quad (5)$$

где  $\varphi(X^*, x, \frac{dx}{dt}) = \{[F_1(X_1^* + x_1) - F_1(X_1^*)], [F_2((X_1^* + y), \frac{dx_2}{dt}) - F_2(X_1^*)]\}^T = \{\varphi_1(x), \varphi_2(x)\}^T$ ,  $y = x_1(t - \tau)$  – нелинейные функции в вариациях относительно точки равновесия, причём  $\varphi(X^*, 0, 0) = 0$ .

Устойчивость траектории  $X^*(A)$  определяется свойствами автономной системы

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + h_\Sigma \frac{dx}{dt} + c_\Sigma x = 0, \quad (6)$$

где  $c_\Sigma = \begin{bmatrix} (c_{1,1} + c_{1,1}^{(T)}) & c_{2,1} \\ (c_{1,2} + c_{1,2}^{(T)}) & c_{2,2} \end{bmatrix}$ ;  $h_\Sigma = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{2,1} \\ (h_{1,2} - h_{1,2}^{(T)}) & (h_{2,2} - h_{2,2}^{(T)}) \end{bmatrix}$ ;  $c_{1,1}^{(T)} = -\partial\varphi_1/\partial x_1$ ;  $c_{1,2}^{(T)} = -\partial\varphi_2/\partial x_1$ ;  $h_{1,2}^{(T)} = \tau\partial\varphi_1/\partial x_1$ ;

$h_{2,2}^{(T)} = \partial\varphi_2/\partial \dot{x}_2$ . В (6) принято во внимание, что  $\partial\varphi_1/\partial x_1 < 0$ ,  $\partial\varphi_2/\partial x_1 < 0$  и рассматривается скоростной диапазон, в котором  $\partial\varphi_2/\partial \dot{x}_2 > 0$ . Все указанные параметры зависят от внешних сил  $U$ , скорости относительного скольжения  $V$  и внутренних факторов, определяемых работой  $A$ . Таким образом, они играют роль управляющих параметров, перестраивающих динамические свойства системы. В рассматриваемой системе роль управления играет работа сил контактного взаимодействия, изменяющая следующие параметры:

–  $p_1 = c_{1,1}^{(T)}$  – динамическую контактную жёсткость трибосопряжения;

–  $p_2 = c_{1,2}^{(T)}$  – параметр, зависящий от динамического коэффициента трения  $k = \partial\varphi_2/\partial\varphi_1$ , то есть

$c_{1,2}^{(T)} = kc_{1,1}^{(T)}$ . Заметим, что динамический коэффициент трения может существенно отличаться от традици-

онно рассматриваемого коэффициента трения  $k^{(Tp)} = F_2(X_1)/F_1(X_1)$ , так как он связывает нормальные и тангенциальные составляющие сил в вариациях относительно их значения в точке равновесия;

–  $p_3 = \tau$  – величину запаздывающего аргумента в преобразовании вариаций нормальных составляющих сил в тангенциальные;

–  $p_4 = h_{2,2}^{(T)}$  – коэффициент вязкого сопротивления в тангенциальном направлении. Он может иметь и отрицательное значение в скоростном диапазоне, где увеличению скорости относительного скольжения соответствует уменьшение силы трения  $F_2$ .

Прежде всего, остановимся на структуре динамических сил, влияющих на устойчивость траектории  $X^*(A)$ . В свою очередь, структура динамических сил зависит от эволюционной траектории параметров  $p(A) \in P^k$ .

**Структура динамических сил. Её влияние на устойчивость эволюционной траектории.**

Исходные динамические подсистемы без трибосреды, задаваемые матрицами  $m, h, c$  (левые части в (5)), имеют постоянные параметры. Эти матрицы, как уже отмечено, являются положительно определенными и симметричными, так как динамическая структура машины, как правило, является неизменной, а силовые функции обладают потенциальными свойствами. Кроме этого, исходная система без трения имеет асимптотически устойчивую точку равновесия. Напомним, что диссипативная функция при моделировании динамики машин вводится в форме Релея. Однако при переходе к (6) суммарные матрицы диссипации  $c_\Sigma$  и жёсткости  $h_\Sigma$  уже не обладают симметричными свойствами. Поэтому с учётом (6) их можно представить в виде суммы

$$c_\Sigma = c_\Sigma^{(c)} + c_\Sigma^{(k)}; \quad h_\Sigma = h_\Sigma^{(c)} + h_\Sigma^{(k)}, \quad (7)$$

где  $c_\Sigma^{(c)} = \begin{bmatrix} (c_{1,1} + c_{1,1}^{(T)}) & (c_{1,2} + 0,5c_{1,2}^{(T)}) \\ (c_{1,2} + 0,5c_{1,2}^{(T)}) & c_{2,2} \end{bmatrix}; \quad h_\Sigma^{(c)} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & (h_{1,2} - 0,5h_{1,2}^{(T)}) \\ (h_{1,2} - 0,5h_{1,2}^{(T)}) & (h_{2,2} - h_{2,2}^{(T)}) \end{bmatrix}$  – симметричные части

матриц жёсткости и диссипации, отвечающие за потенциальные свойства системы;

$c_\Sigma^{(k)} = \begin{bmatrix} 0 & -0,5c_{1,2}^{(T)} \\ 0,5c_{1,2}^{(T)} & 0 \end{bmatrix}, \quad h_\Sigma^{(k)} = \begin{bmatrix} 0 & 0,5h_{1,2}^{(T)} \\ -0,5h_{1,2}^{(T)} & 0 \end{bmatrix}$  – кососимметричные матрицы. Матрицы  $c_{1,2}^{(k)}$ , как

известно, формируют непотенциальные (циркуляционные) силы. Они могут привести к потере устойчивости точки равновесия. Матрицы  $h_{1,2}^{(k)}$  формируют гироскопические силы, которые могут стабилизировать точку равновесия.

Мы приходим к важному заключению.

1. При взаимодействии механической системы с трибосредой естественным образом формируются гироскопические и циркуляционные силы, влияющие на условия асимптотической устойчивости системы. Подчеркнём, что все имеющиеся экспериментальные данные по изучению траекторий движения контактирующих поверхностей в узлах трения показывают, что при потере устойчивости траектории движения индентора всегда остаются круговыми независимо от параметров подвески индентора. В этом подтверждение роли циркуляционных сил, то есть сил, ортогональных направлению упругих деформаций.

2. Симметричная часть матрицы  $h_\Sigma$  за счёт коэффициента  $h_{2,2}^{(T)}$ , определяющего отрицательное приращение тангенциальных сил трения при увеличении скорости относительного скольжения, может преобразоваться из положительно определённой в отрицательно определённую. Таким образом, в системе дополнительно могут формироваться ускоряющие силы, приводящие к потере устойчивости точки равновесия.

Для определения влияния структуры сил на устойчивость представим (6) в виде

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + h_\Sigma^{(c)} \frac{dx}{dt} + c_\Sigma^{(c)} x + h_\Sigma^{(k)} \frac{dx}{dt} + c_\Sigma^{(k)} x = 0. \quad (8)$$

Рассмотрим несколько случаев.

**Первый случай.** Рассмотрим влияние асимметрии позиционных сил в предположении, что  $\tau \rightarrow 0$  и  $h_{2,2}^{(T)} \rightarrow 0$ . Тогда  $h_\Sigma^{(k)} \rightarrow 0, h_\Sigma^{(c)} = h_\Sigma = h$  и вместо (8) имеем

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + h \frac{dx}{dt} + c_\Sigma^{(c)} x + c_\Sigma^{(k)} x = 0. \quad (9)$$

Мы видим, что позиционная связь, формируемая процессом трения, вызывает изменение потенциальных свойств динамической системы и приводит к образованию циркуляционных сил (характеризуются матрицей  $c_{\Sigma}^{(k)}$ ), которые могут влиять на устойчивость точки равновесия. Из (9) получаем характеристический полином системы

$$\Delta_{\Sigma}(p) = \Delta(p) + c_{1,1}^{(T)}[mp^2 + (h_{2,2})p + (c_{2,2})] - c_{1,2}^{(T)}(h_{2,1}p + c_{2,1}), \quad (10)$$

где  $\Delta(p)$  – характеристический полином исходной системы без трения. Полином  $\Delta(p)$  соответствует асимптотически устойчивой системе.

Анализ (8) позволяет сформулировать первое свойство влияния асимметрии позиционных сил, формируемых в трибосопряжении, на устойчивость точки равновесия системы. Если исходная динамическая структура подвески индентора является ортогональной, то циркуляционные силы не могут привести к потере устойчивости равновесия. Здесь и далее под ортогональной будем понимать динамическую структуру, для которой все недиагональные элементы матриц  $c$  и  $h$  равны нулю, то есть в исходном состоянии координаты  $x$  являются нормальными. Действительно, при условии  $c_{1,2} = h_{1,2} = 0$  полином (10) преобразуется в полином  $\Delta_{\Sigma}(p) = (mp^2 + h_{1,1}p + c_{1,1} + c_{1,1}^{(T)})(mp^2 + h_{2,2}p + c_{2,2})$ , корни которого имеют отрицательные вещественные части. Очевидно, что это утверждение можно распространить и на случай, когда механическая часть системы без трения представлена в виде  $N$ -мерной динамической структуры, обладающей ортогональными динамическими свойствами.

Обозначим  $0,5c_{1,2}^{(T)} = \mu$  и рассмотрим характеристический полином системы, приведённый к виду (9), при  $h^{(k)} = 0$ ,  $h = h_{\Sigma}$

$$\Delta_{\Sigma}(p) = \Delta(p) + \mu^2, \quad (11)$$

где  $\Delta(p) = (mp^2 + h_{1,1}p + c_{1,1}^{(c)})(mp^2 + h_{2,2}p + c_{2,2}^{(c)}) - (h_{1,2}p + c_{1,2}^{(c)})^2$  – характеристический полином системы (11) без связей, формирующих циркуляционные силы, то есть обладающей потенциальными свойствами. Пусть матрица  $c_{\Sigma}^{(c)}$  является положительно определённой. Матрица  $h$  является положительно определённой. Поэтому полином  $\Delta(p)$  имеет все корни с отрицательными вещественными частями, то есть соответствует асимптотически устойчивой системе. Для выяснения влияния циркуляционных сил, учитываемых  $\mu^2$ , удобно воспользоваться частотным критерием устойчивости Михайлова (рис. 2). Очевидно, что  $\mu^2$  смещает годограф Михайлова вдоль вещественной оси во всём частотном диапазоне на величину  $\mu^2$  и может преобразовать асимптотически устойчивую систему в неустойчивую. Кроме этого, при увеличении  $\mu$  значение определителя, составленного из матрицы  $c_{\Sigma}^{(c)}$ , по мере увеличения  $c_{1,2}^{(T)}$  уменьшается. Принципиально при неограниченном увеличении  $k$  матрица  $c_{\Sigma}^{(c)}$  может стать отрицательно определённой.

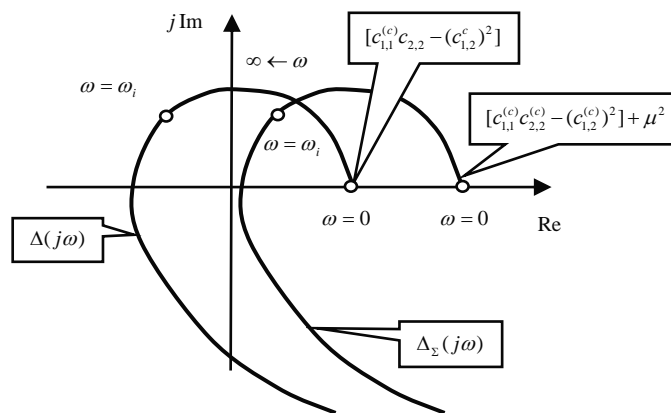


Рис. 2. Схема преобразования годографа Михайлова за счёт циркуляционных сил, формируемых в трибосопряжении



Мы видим, что неконсервативные (циркуляционные) силы, естественным образом формируемые в любой динамической системе трения, могут приводить к потере устойчивости точки равновесия системы, причём потеря устойчивости зависит от параметров динамической подсистемы индентора, характеристик трибосопряжения, внешних условий и траектории  $p(A) \in P^k$ . Подчеркнём, что положение равновесия определяет точку, в окрестности которой определяется градиент функции сближения и динамический коэффициент трения.

**Второй случай.** Рассмотрим влияние на устойчивость равновесия запаздывающего аргумента  $\tau$ , изменяющего симметричную (потенциальную) матрицу диссипации  $h_{\Sigma}^{(c)}$  и формирующего гироскопические силы за счёт кососимметрической части  $h_{\Sigma}^{(k)}$ . Как и в первом случае, если матрица диссипации исходной системы является диагональной (подвеска индентора обладает ортогональными динамическими свойствами), то запаздывающий аргумент никак не влияет на устойчивость точки равновесия системы. В общем же случае структура матриц  $h_{\Sigma}^{(c)}$  и  $h_{\Sigma}^{(k)}$  показывает, что запаздывающий аргумент  $\tau$  усиливает положительную определённость матрицы  $h_{\Sigma}^{(c)}$  и дополнительно приводит к формированию гироскопических сил, также увеличивающих запас устойчивости системы. Для доказательства этого утверждения рассмотрим характеристический полином системы в предположении, что  $h_{2,2}^{(T)} = 0$ . Тогда имеем характеристический полином системы  $\Delta_{\Sigma}^*(p)$

$$\Delta_{\Sigma}^*(p) = \Delta_{\Sigma}(p) + \tau k c_{1,1}^{(T)} p(h_{2,1} p + c_{2,1}), \tag{12}$$

где  $\Delta_{\Sigma}(p)$  соответствует (10).

Пусть полином  $\Delta_{\Sigma}(p)$  соответствует системе, устойчивой по Ляпунову. Тогда годограф  $\Delta_{\Sigma}(j\omega)$  проходит через начало координат (рис. 3 а). Каждая точка годографа  $\Delta_{\Sigma}^*(j\omega)$  смещается влево на  $-\tau k c_{1,1}^{(T)} h_{2,1} \omega^2$  и вверх на величину  $\tau k c_{1,1}^{(T)} c_{2,1} \omega j$ , то есть будет смещаться во внешнюю сторону по отношению к годографу  $\Delta_{\Sigma}(p)$  соответствующему устойчивой по Ляпунову системе. Следовательно, годограф  $\Delta_{\Sigma}^*(j\omega)$  будет отвечать асимптотически устойчивой системе. Более того, если годограф  $\Delta_{\Sigma}(j\omega)$  соответствует неустойчивой системе, то по мере увеличения  $\tau$  система может приобрести асимптотическую устойчивость (рис. 3 б). Подчеркнём, что механизм влияния  $\tau$  на устойчивость равновесия двоякий. Во-первых, по мере увеличения запаздывающего аргумента усиливается положительная определённость потенциальной матрицы диссипации, во-вторых, при этом возрастает стабилизирующее влияние гироскопических сил, формируемых кососимметричными составляющими матрицы  $h_{\Sigma}^{(k)}$ .

Сделаем вывод. Гироскопические члены, определяемые запаздыванием тангенциальной составляющей силы контактного взаимодействия по отношению к смещениям индентора относительно образца в нормальном направлении, стабилизируют точку равновесия.

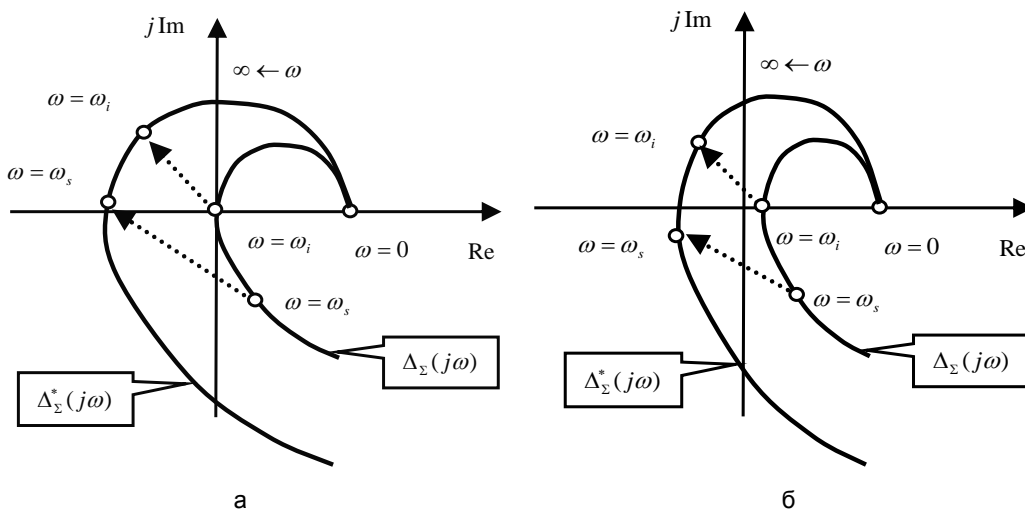


Рис. 3. Влияние на годограф Михайлова запаздывающего аргумента  $\tau$

**Третий случай.** Рассмотрим влияние на устойчивость параметра  $h_{2,2}^{(T)}$ , который связан с кинетической характеристикой процесса трения [4]. Нетрудно показать, что к аналогичным эффектам приводит и запаздывание нормальных сил по отношению к нормальным к поверхности смещениям индентора по отношению к образцу. Анализ матриц  $h_{\Sigma}$  и  $c_{\Sigma}$  показывает, что параметр  $h_{2,2}^{(T)}$  влияет на симметричную составляющую  $h_{\Sigma}^{(c)}$ . Более того, при увеличении  $h_{2,2}^{(T)}$  возможно преобразование матрицы  $h_{\Sigma}^{(c)}$  в отрицательно определённую. В этом случае в системе трения могут формироваться ускоряющие силы при всех условиях вызывающие потерю устойчивости точки равновесия системы.

Для выяснения механизма потери устойчивости в этом случае вновь воспользуемся изложенным выше приёмом. Для этого рассмотрим характеристический полином  $\Delta_{\Sigma}^{**}(p)$

$$\Delta_{\Sigma}^{**}(p) = \Delta_{\Sigma}^{*}(p) - h_{2,2}^{(T)} p \{ m p^2 + h_{1,1} p + c_{1,1} + c_{1,1}^{(T)} \} \quad (13)$$

и выясним, каким образом смещается годограф Михайлова за счёт члена, зависящего от  $h_{2,2}^{(T)}$  (рис. 4), если полином  $\Delta_{\Sigma}^{*}(p)$  соответствует системе, устойчивой по Ляпунову. В терминологии теории управления система, имеющая полином  $\Delta_{\Sigma}^{*}(p)$ , находится на границе устойчивости.

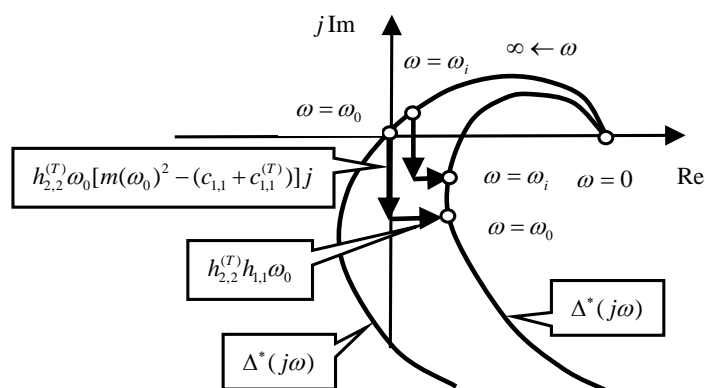


Рис. 4. Преобразование годографа Михайлова за счёт влияния коэффициента отрицательного динамического трения в тангенциальном направлении

Подчеркнем, что формируемые в контакте гироскопические и циркуляционные силы в этом случае не могут стабилизировать равновесие системы, если оно потеряло устойчивость за счёт отрицательного динамического трения или за счёт запаздывания нормальных составляющих сил по отношению к их нормальным смещениям. Удивительным является то, что при увеличении контактной жёсткости системы в нормальном направлении, а также при возрастании жёсткости подвески и вязкого сопротивления индентора в этом же направлении склонность к потере устойчивости равновесия системы возрастает.

**Влияние на устойчивость эволюционных параметров.** Так как параметры трибосреды  $p_i(A)$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$  обладают свойством эволюционной изменчивости, при анализе устойчивости медленно изменяющейся эволюционной траектории в целом в пределах всего периода работы сил трения естественно воспользоваться методом  $D$  разбиения. Условие устойчивости в целом определяется требованием  $p(A) \in \mathbf{M}$  ( $\mathbf{M}$  – область устойчивости в пространстве варьируемых параметров).

Проиллюстрируем анализ устойчивости эволюционных траекторий на примере, анализ которого имеет самостоятельное значение. Рассмотрим систему, параметры динамической характеристики процесса трения в которой удовлетворяют следующим требованиям:  $\tau \rightarrow 0$ . На индентор приложена внешняя нормальная сила  $F_1 = \text{const}$ . Кроме этого рассмотрим суммарный коэффициент вязкого трения в тангенциальном направлении  $h_{2,2}^* = h_{2,2} - h_{2,2}^{(T)}$ , который может в зависимости от  $h_{2,2}^{(T)} = p_4$  принимать отрицательное значение. Так как динамический коэффициент трения может существенно отличаться от традиционного коэффициента трения, введём в рассмотрение параметр  $p_0 = k^{(Tp)}$ , обладающий также свойством эволюционной изменчивости, то есть  $F_2 = p_0 F_1$ . В рассматриваемом приме-

ре  $h_{2,2}^* = const$ . В связи с тем, что  $p_4$  тоже эволюционный параметр, рассмотрим совокупность областей устойчивости для различных значений  $p_4$ .

Экспериментальные данные, приведённые в работах [1-3], показывают, что традиционная система, функционирующая в режиме трения без смазки или в случае граничного трения, имеет две тенденции.

**Первая** направлена на стабилизацию равновесия. При этом после приработки возрастает контактная жёсткость трибосопряжения в нормальном направлении (параметр  $p_1$ ); уменьшается динамический коэффициент трения, следовательно, параметр  $p_2$ ; уменьшается коэффициент трения (параметр  $p_0$ ); практически остаётся неизменной величина запаздывающего аргумента (параметр  $p_3$ ), так как он в основном зависит от средней скорости относительного скольжения (в нашем примере  $p_3 = 0$ ); уменьшается коэффициент отрицательного вязкого трения в тангенциальном направлении (параметр  $p_4$ ).

**Вторая** направлена на деградацию контактной области. Она проявляется в противоположных тенденциях изменения указанных параметров.

Для рассмотрения эволюции системы в области, в которой эволюционная траектория является неустойчивой, необходимо привлекать нелинейные уравнения связи, формируемой трибосредой. В настоящей статье этот вопрос не рассматривается. Общие свойства рассматриваемой в качестве примера системы таковы: на первом этапе приработки системы трения запас устойчивости в системе возрастает. В пределах работы сил трения ( $0,15 \cdot 10^4$ ;  $1,2 \cdot 10^4$ ) кГм динамические свойства системы остаются примерно неизменными. Затем система достаточно быстро теряет устойчивость эволюционной траектории и в зависимости от параметров подвески индентора потеря устойчивости может быть аperiodической или колебательной.

### Заключение

При взаимодействии механической системы с трибосредой получаемая динамическая система обладает принципиально иными динамическими свойствами по сравнению с исходной механической системой без трения. При этом в контакте в зоне трения естественным образом формируются диссипативные, ускоряющие, гироскопические, потенциальные и циркуляционные силы. Характерно, что диссипативные и потенциальные силы зависят как от параметров связи, формируемой узлом трения, так и параметров подвески индентора. Что касается гироскопических и циркуляционных сил, то они не зависят от параметров подвески индентора.

В статье излагаются результаты исследований, полученных при поддержке гранта 07-09-90000 РФФИ по Российско-Вьетнамскому научному сотрудничеству.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Заковоротный В.Л. Нелинейная трибомеханика / В.Л. Заковоротный. Ростов н/Д: Изд-во ДГТУ, 2000. 293 с.
2. Заковоротный В.Л. Динамика трибосистем. Самоорганизация, эволюция / В.Л. Заковоротный. Ростов н/Д: Изд-во ДГТУ, 2003. 502 с.
3. Заковоротный В.Л. Введение в динамику трибосистем / В.Л. Заковоротный. Ростов н/Д: ИнфоСервис, 2004. 680 с.
4. Крагельский И.В. Фрикционные автоколебания / И.В. Крагельский, Н.В. Гитис. М.: Наука, 1987.
5. Wehrli C. Zur Klassifikation von Kräften / C. Wehrli, H. Ziegler // Schweiz. Bauzeitung. 1966. 84. № 48.
6. Ziegler H. Linear Elastic Stability / H. Ziegler // Critical Analysis of Methods. ZAMP. Basel – Zurich. 1953. IV. F-2.
7. Thomson W. Treatise on Natural Philosophy. Part 1 / W. Thomson, P. Tait. Cambridge University Press, 1879.
8. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения / Д.Р. Меркин. М.: Наука, 1971.
9. Лахаданов В.М. О влиянии структуры сил на устойчивость движения / В.М. Лахаданов // ПММ. 1974. Т. 38. С. 246-253.
10. Лахаданов В.М. О стабилизации потенциальных систем / В.М. Лахаданов // ПММ. 1975. Т. 39. С. 53-58.

11. Демкин Н.Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н.Б. Демкин, Э.В. Рыжов. М.: Машиностроение, 1981. 244 с.

12. Бутенин Н.В. Введение в теорию нелинейных колебаний / Н.В. Бутенин, Ю.И. Неймарк, Н.А. Фуфаев. М.: Наука, 1987.

**Заковоротный Вилор Лаврентьевич** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Автоматизация технологических  
процессов» Донского государственного технического университета

**Pham Dinh Tung** –  
аспирант кафедры «Автоматизация технологических процессов»  
Донского государственного технического университета

УДК 621.91.01

**Ю.М. Зубарев, Д.В. Семейкин, А.И. Круглов, А.А. Галышев**

### **ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ОПЕРАЦИЯХ ЧИСТОВОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

*Основные результаты получены в рамках проекта № 6730 «Исследование влияния наноструктуризации технологических сред применительно к триботехническим задачам энергомашиностроения», аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)».*

*Рассмотрены механизмы разрушения кромок твердых сплавов под действием параметров процесса резания материалов и влиянием окружающей среды. Рассмотрены варианты разрушения без охлаждающей жидкости в зоне резания. Представлены результаты натурных испытаний в виде графиков. Проведен анализ многокомпонентных покрытий, включающих разные сочетания химических элементов.*

**J.M. Zubarev, D.V. Semeikin, A.I. Kruglov, A.A. Galyshev**

### **IMPROVING PERFORMANCE CARBIDE TOOLS USED OPERATIONS FOR FINISHING MACHINING**

*The main results obtained in the framework of the project № 6730 «The influence nanostructurization technological environments in relation to tribological problems of power engineering», analytical departmental target program «Development of Scientific Potential of Higher School (2009-2010)».*

*The article describes the mechanisms of destruction of the edges of hard alloys under the influence of parameters of the process of cutting materials and the influence of the environment. Consider options for destruction without coolant in the cutting zone. The results of field tests in the form of graphs. The analysis of multicomponent coatings, which include different combinations of chemical elements.*

Современная экономическая ситуация выдвигает на первый план задачи по созданию экономически эффективного производства. В рамках этой задачи имеется ряд проблем, важность которых в научном и техническом плане, несмотря на постоянное решение этих вопросов, продолжает оставаться актуальной. В настоящее время проблема прочности, износостойкости и надежности машин и ме-

ханизмов входит в первую пятерку приоритетов современного научно-технического прогресса. И немалое значение при решении данной проблемы придается упрочняющей обработке поверхности конструкционных материалов.

Большинство материалов, в особенности инструментальные, имеют ограничения по допускаемым температурам их нагрева в твердом состоянии, после достижения которых они теряют свои эксплуатационные свойства. Этот факт является очень важным при выборе способа модификации инструментов, так как все известные ионно-вакуумные воздействия в большей или меньшей степени приводят к нагреву обрабатываемых материалов. Кроме того, некоторые из процессов для своей реализации требуют достаточно высоких температур рабочих поверхностей инструментов во время ионной обработки.

Для выбора рациональных областей применения способов ионно-вакуумной модификации, с одной стороны, требуется знать теплофизические характеристики инструментальных материалов (теплостойкость, теплопроводность, теплоемкость, способность длительное время выдерживать высокие температуры и др.), с другой – технологические параметры способов ионных воздействий. И если для ионно-плазменного покрытия и ионной имплантации существуют достаточно известные формулы по расчету температуры нагрева обрабатываемого изделия, то о применимости разных способов нанесения покрытий для обработки всей гаммы основных инструментальных материалов имеются достаточно противоречивые данные [4, 5].

Особые условия, связанные с работой инструментов в условиях прерывистого резания, во многих случаях снижают эффективность традиционных износостойких покрытий, добавляя дополнительные требования к ним, связанные с необходимостью повышения адгезии покрытия к основе, а также улучшения когезионных связей элементов покрытия и уменьшения количества дефектов в них. Все это должно привести к повышению трещиностойкости покрытий.

Одним из выходов из создавшегося положения является формирование многослойных покрытий с повышенными адгезионными связями между слоями покрытия и инструментальной основой [6].

Анализ основных причин потери работоспособности инструментов из металлокерамических твердых сплавов на операциях чистовых точения и растачивания показал следующее.

Одной из основных причин выхода пластин из строя являются высокие тепловые нагрузки режущего лезвия на площадках контакта обрабатываемого материала по передним и задним поверхностям режущего клина. Учитывая относительно малые сечения среза при чистовой обработке, отвод тепла в инструментальный материал приводит к значительным величинам температур нагрева режущего лезвия непосредственно у вершины резца, что, в свою очередь, способствует интенсификации размерного износа инструмента. В некоторых случаях температуры нагрева могут превысить допускаемые по значениям теплостойкости инструментального материала, а это приводит к потере инструментами своих режущих свойств.

Другой важной причиной потери инструментами работоспособности является наличие у них дефектного поверхностного трещиноватого слоя, образующегося как при изготовлении металлокерамических твердосплавных пластин, так и при их заточке. Поверхностные микротрещины, часто выходящие наружу на рабочие поверхности инструментов, являются одной из причин образования магистральных разрушающих режущий клин трещин в процессе обработки. Кроме того, наличие поверхностных дефектов часто приводит к приповерхностному разрушению металлокерамических твердых сплавов в виде вырывов инструментального материала, что резко интенсифицирует износ, приводит к изменению геометрии режущего лезвия, и, как следствие, к выходу инструмента из строя.

Немаловажным фактором, влияющим на работоспособность инструментов, является микропрофиль поверхности, формируемый при их изготовлении. К сожалению, достаточно часто оценка параметров микрогеометрии сводится к измерению значений Rz и Ra, хотя при изучении механизма контактного взаимодействия при резании большое значение имеют и другие параметры микропрофиля, как размерные, так и безразмерные.

И, наконец, при изучении механизмов разрушения инструментов необходимо учитывать диффузионные процессы, происходящие при резании, как в самих инструментальных материалах, так и при их контактом взаимодействии с обрабатываемым материалом и окружающей средой. К сожалению, данный фактор редко оценивается при разработке мероприятий по повышению работоспособности инструментов. Анализ физико-химических процессов, происходящих в поверхностных слоях твердо-

сплавных металлокерамических режущих инструментов при их эксплуатации, позволил установить следующее. Во-первых, под действием силовых и тепловых факторов происходит диффузия углерода из инструментального материала в граничную область, где в контакте с обрабатываемым материалом образуются карбиды, ослабляющие приграничные подповерхностные слои. В этих слоях также возникают дефекты в виде пор, что приводит к адгезионно-усталостному разрушению инструментального материала. Кроме того, углерод разрушает окисную пленку на поверхности твердого сплава, предохраняющую карбиды от дальнейшего окисления. Разрушение окисной пленки, обладающей низким коэффициентом трения, активизирует адгезионно-диффузионные процессы в контактной зоне [4, 5].

Во-вторых, при эксплуатации инструмента происходит диффузия кислорода из окружающей среды по межкристаллитным границам. Диффузия  $O_2$  внутрь твердого сплава вызывает его окисление, в результате чего ослабляются связи между зёрнами карбидов и происходит окисление самих карбидов. Все это интенсифицирует износ инструмента. Кроме того, при обработке стали наблюдается диффузия железа из обрабатываемого материала в твердый сплав по кобальтовой связке. В результате диффузии происходит ослабление сил, удерживающих карбиды  $WC$ ,  $TiC$ ,  $TaC$  в связке, что приводит также к интенсификации износа. Железо вступает в соединение с компонентами твердого сплава и с кислородом, образуя при этом интерметаллиды, окислы и карбиды типа  $COFe_3$ ,  $COFe_3O_4$ ,  $Fe_3W_3C$ ,  $Fe_3C$ . Все это приводит к разупрочнению приповерхностных слоев инструментального материала. Иногда наблюдается диффузия  $CO$  из твердого сплава в стружку [4].

Подводя итоги представленного выше анализа, следует отметить, что под потерей инструментами работоспособности понимается как разрушение самого режущего лезвия, так и необеспечение требуемых точности обработки и качества обработанной поверхности, что недопустимо для чистовых операций. Одним из путей повышения работоспособности в указанном смысле является уменьшение значений параметров режима резания. Но при этом неизбежно снижение производительности обработки. Другим же путем решения поставленной задачи, не снижая, а в некоторых случаях повышая производительность процесса резания, является модификация рабочих поверхностей инструментов.

Под модификацией понимается направленное улучшение эксплуатационных свойств инструментов за счет создания многослойных структур поверхностных слоев, каждый из подслоев которых обладает своей функциональной, в том числе и барьерной для «вредных» диффузий направленностью. В качестве технологических методов для реализации предложенных структур нами выбираются различные способы ионно-вакуумной обработки [1-3].

Одной из основных задач модификации твердосплавных инструментов, используемых на операциях чистовой обработки, является «разгрузка» режущей кромки в тепловом отношении за счет более интенсивного отвода тепла при резании. Для этого рекомендуется сформировать теплопроводный слой покрытия. Этот слой должен обладать хорошей сопротивляемостью к рассмотренным выше видам износа твердых сплавов. Одновременно следует обеспечить и барьерные функции внешнего слоя, необходимые для защиты от «вредных» диффузий из окружающей среды и обрабатываемого материала при резании.

Исходя из изложенных требований, нами был предложен следующий состав слоя покрытия – (Cu-Mo-Ti). Выбор данного состава объясняется следующим. Во-первых, данные элементы способны образовывать соединения с высокой теплопроводностью:  $Cu_2Ti$ ,  $Mo_2Ti$ ,  $Cr_2Ti$ . Во-вторых, кроме образования данными элементами фаз Лавеса [6], возможно образование твердых растворов в системах (Ti – Mo) и (Cu – Mo), а также достаточно устойчивых псевдосплавов (W – Cu). Таким образом, в предложенном составе слоя медь можно рассматривать как теплопроводный материал, а молибден и титан – как упрочнители с ОЦК-решеткой, которые позволяют повысить прочность композиции на основе меди за счет образования фаз Лавеса, твердых растворов и псевдосплавов.

Технологически данную структуру и состав поверхностного слоя можно обеспечить использованием секторного магнетрона, работающем в атмосфере азота на завершающей стадии нанесения покрытия.

Таким образом, для повышения работоспособности металлокерамических твердосплавных инструментов, предназначенных для выполнения чистовых операций механической обработки, рекомендуется после распыления дефектного трещиноватого слоя сформировать модифицированный поверхностный слой следующего состава: Cr-(Cu-Mo-Ti)-N.

Многочисленные лабораторные исследования [4, 5] подтвердили правильность изложенных выше теоретических посылок и предложений (см. рис. 1-8).

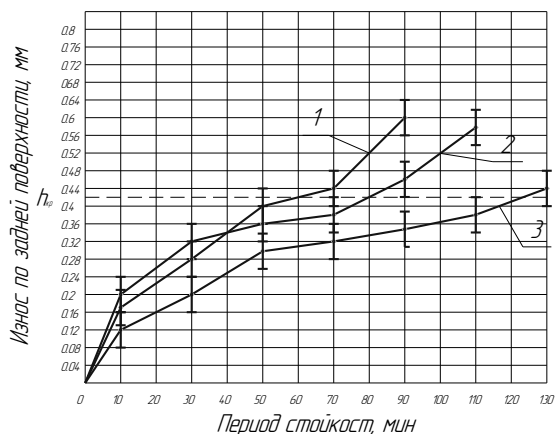


Рис. 1. Результаты стойкостных испытаний резцов при точении Стали 45 твердосплавными пластинами ВК8, ВК8 с покрытием TiN, ВК8 с покрытием Cr-(Cu-Mo-Ti)-N. Режим:  $t = 2,5$  мм,  $S = 20$  мм/мин,  $V = 100$  м/мин

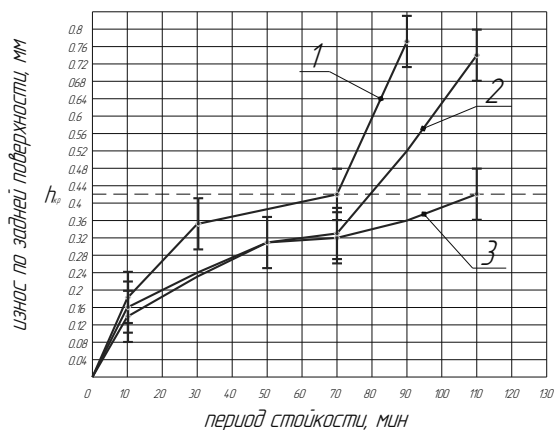


Рис. 2. Результаты стойкостных испытаний резцов при точении Стали 45 твердосплавными пластинами T15K6, T15K6 (с покрытием TiN), T15K6 (с покрытием Cr-(Cu-Mo-Ti)-N). Режимы:  $t = 1,5$  мм,  $S = 10$  мм/мин,  $V = 140$  м/мин

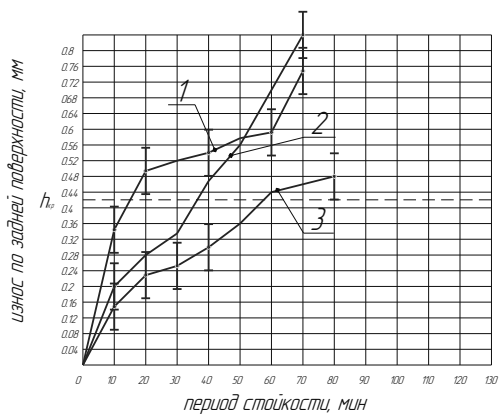


Рис. 3. Результаты стойкостных испытаний резцов при точении Стали 10X18P9T твердосплавными пластинами ВК8, ВК8 (с покрытием TiN), ВК8 (с покрытием Cr-(Cu-Mo-Ti)-N). Режимы:  $t = 2,5$  мм,  $S = 20$  мм/мин,  $V = 100$  м/мин

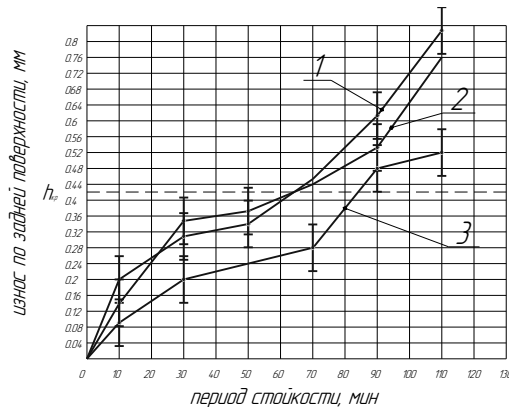


Рис. 4. Результаты стойкостных испытаний резцов при точении Стали 12X13 твердосплавными пластинами T15K6, T15K6 (с покрытием TiN), T15K6 (с покрытием Cr-(Cu-Mo-Ti)-N). Режимы:  $t = 1,5$  мм,  $S = 10$  мм/мин,  $V = 140$  м/мин

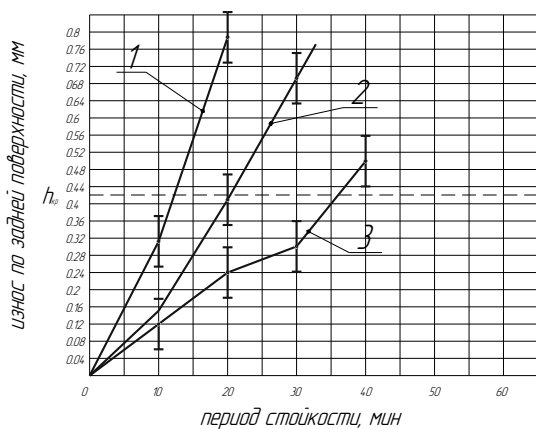


Рис. 5. Результаты стойкостных испытаний резцов при точении Стали 10X18P9T твердосплавными пластинами T15K6, T15K6 (с покрытием TiN), T15K6 (с покрытием Cr-(Cu-Mo-Ti)-N). Режимы:  $t = 1,5$  мм,  $S = 10$  мм/мин,  $V = 140$  м/мин

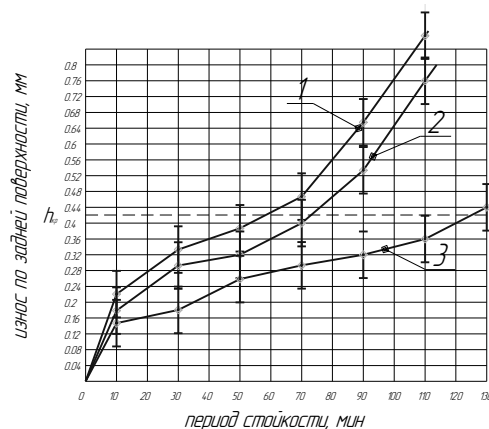


Рис. 6. Результаты стойкостных испытаний резцов при точении Стали 12X13 твердосплавными пластинами ВК8, ВК8 (с покрытием TiN), ВК8 (с покрытием Cr-(Cu-Mo-Ti)-N). Режимы:  $t = 2,5$  мм,  $S = 20$  мм/мин,  $V = 100$  м/мин

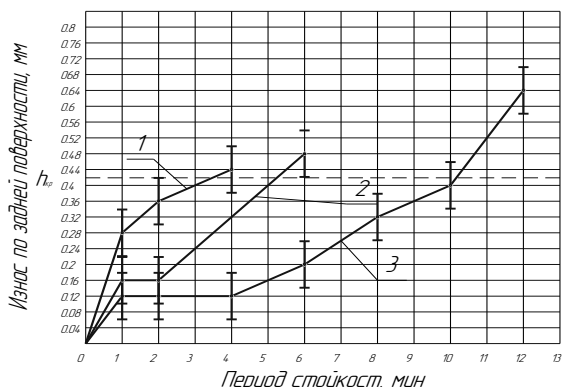


Рис. 7. Результаты стойкостных испытаний резцов при точении титанового сплава ВТ-5 твердосплавными пластинами ВК8, ВК8 (с покрытием TiN), ВК8 (с покрытием Cr-(Cu-Mo-Ti)-N). Режимы:  $t = 2,5$  мм,  $S = 31,5$  мм/мин,  $V = 65$  м/мин

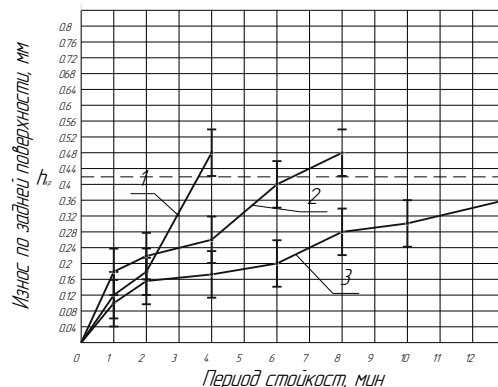


Рис. 8. Результаты стойкостных испытаний резцов при точении титанового сплава ВТ-5 твердосплавными пластинами Т15К6, Т15К6 (с покрытием TiN), Т15К6 (с покрытием Cr-(Cu-Mo-Ti)-N). Режимы:  $t = 1,5$  мм,  $S = 20$  мм/мин,  $V = 100$  м/мин

По окончании экспериментальных работ на базе институтских лабораторий были выполнены комплексные теоретические и экспериментальные исследования с применением современных методов компьютерного моделирования, рентгеноструктурного анализа, оптической и просвечивающей электронной микроскопии, механических испытаний и др.

*Экономическая эффективность.* Нанесение покрытий требует дополнительных затрат на установку и технологию создания покрытий, но повышает износостойкость металлокерамических твердых сплавов, которые весьма дорогие, т.е. уменьшение их расхода во столько раз, на сколько повышается стойкость инструмента, что позволяет уменьшить потребность в твердосплавных пластинах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов / Б.С. Данилин, В.Ю. Киреев. М.: Энергоиздат, 1987. 264 с.
2. Попов В.Ф. Процессы и установки электронно-ионной технологии / В.Ф. Попов, Ю.Н. Горин. М.: Высшая школа, 1988. 255 с.
3. Современные магнетронные распылительные системы / В.А. Лабунов, Н.И. Данилович и др. // Зарубежная электронная техника. 1982. № 10. С. 3-61.
4. Технология прогнозирования изменений физико-химических свойств ионно-модифицированных слоев в процессе эксплуатации / И.А. Сенчило и др. // Проблемы машиноведения и машиностроения. Вып. 27. СПб.: СЗТУ, 2002. С. 25-29.
5. Технология обработки с использованием потоков высокоэнергетических частиц / И.А. Сенчило и др. СПб.: ПИМаш, 2004. 114 с.
6. Лавес Ф. Факторы, определяющие кристаллическую структуру / Ф. Лавес // Интерметаллические соединения. М.: Металлургия, 1970.

**Зубарев Юрий Михайлович** –

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения», ректор Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ ВТУЗ)

**Круглов Андрей Игоревич** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ ВТУЗ)

**Семейкин Дмитрий Валентинович** –

ведущий инженер Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ ВТУЗ)



**Галышев Алексей Александрович** –  
аспирант кафедры «Технология машиностроения»  
Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ ВТУЗ)

УДК 681.5

**А.А. Игнатьев, В.В. Бондарев, В.А. Каракозова**

### **ПРИМЕНЕНИЕ КОНТРОЛЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ СТАНКОВ ДЛЯ ВЫБОРА РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ**

*Рассматривается контроль вибраций станков при стационарном и нестационарном режимах резания.*

**A.A. Ignatyev, V.V. Bondarev, V.A. Karakozova**

### **APPLICATION OF THE CONTROL OF VIBROACUSTIC FLUCTUATIONS OF MACHINE TOOLS FOR THE CHOICE OF MODES OF PROCESSING**

*The control of vibrations of machine tools is considered at stationary and non-stationary modes of cutting.*

Одним из наиболее эффективных методов оценки технического состояния станков и повышения качества обработки является контроль вибраций их основных узлов в процессе эксплуатации [1-3].

Эффективность методов виброакустического контроля [1, 4] обусловлена не только тесной связью процессов, протекающих в динамической системе (ДС) станка, с информацией, содержащейся в виброакустических сигналах, но и с возможностью автоматизации процессов измерения и обработки вибросигналов с помощью современной микропроцессорной техники и организации диагностирования на основе разработанного и имеющегося в литературе математического аппарата.

Согласно [7], динамическая система станка (ДС) образуется совокупностью упругой системы и рабочих процессов в их взаимодействии. Упругая система (УС) включает сам станок, приспособление, инструмент и обрабатываемую деталь. Рабочие процессы – резание, трение и процессы в двигателях. Кроме рабочих процессов (внутренних воздействий), на УС оказывают влияние и внешние воздействия: силы инерции неуравновешенных вращающихся деталей, силы веса узлов станка и заготовок, усилия закрепления деталей системы, тепловые источники, а также колебания, возникающие в самой системе из-за неточности изготовления деталей или сборки станка, а также колебаний, передаваемых через фундамент. При мониторинге технологического процесса необходимо контролировать динамические характеристики станков, так как они непосредственно влияют на качество обработки изделий. Для оценки динамических характеристик используют измерение виброакустических (ВА) колебаний основных элементов формообразующей подсистемы станка, возбуждаемых в динамической системе (ДС) силами резания непосредственно в процессе обработки изделия. При этом выделяются два метода идентификации: первый – по переходным характеристикам при врезании инструмента в заготовку, второй – при стационарном резании. Оба метода разработаны в СГТУ и реализованы для токарных станков [3, 5]. В обоих случаях обязательно учитывается стохастическая составляющая колебаний в ДС станка, которая по своему спектру близка к сигналу типа «белый шум». Эта составляющая обусловлена тем, что на ДС оказывают воздействие несколько независимых источников ВА колебаний с различными спектрами (электродвигатели, шпиндели, процесс резания и т.п.). Их суммарное воздействие в диапазоне частот до нескольких килогерц определяет стохастическую составляющую силы резания, которую можно рассматривать как «ограниченный белый шум».

Основой метода, рассматривающего возбуждение ДС станка силой резания со стохастической компонентой типа «белый шум», является использование реальных воздействий в технологической системе, что существенно повышает адекватность идентифицированной модели ДС станка [6]. Стохастическая компонента ВА колебаний ДС в этом случае рассматривается как стационарный случайный процесс (ССП). Следовательно, возможность применения метода обуславливается стационарностью режима резания и допущением линейности ДС, что пригодно для большинства видов и типов станочного оборудования на этапе обработки.

Для идентификации ДС шлифовального станка представляется целесообразным получить выражение передаточной функции [6] для ее последующего анализа. При этом используется экспериментально-аналитический метод оценки передаточной функции ДС по переходным функциям ВА колебаний, зарегистрированных вибродатчиками в процессе шлифования колец подшипников в момент врезания шлифовального круга в обрабатываемую деталь. Вибродатчики устанавливаются на основных узлах станка, наиболее близких к зоне резания (шпиндели, опора кольца). Метод предусматривает определение с помощью персонального компьютера (РС) степени устойчивости замкнутой ДС станка по корням характеристического уравнения полинома по разработанному алгоритму. Его можно применять как для выбора оптимальных режимов обработки на данном станке, получении информации о состоянии инструмента, так и для сравнения динамического состояния станков одной модели.

Технологические процессы шлифования являются довольно сложными объектами управления. Для упрощения математических моделей процессов шлифования и приведения их к виду, приемлемому для инженерных расчетов и анализа, пренебрегают рядом процессов и существующих между ними взаимосвязей. Передаточную функцию линеаризованной ДС станка  $W_c(p)$  можно представить в виде [7, 8]:

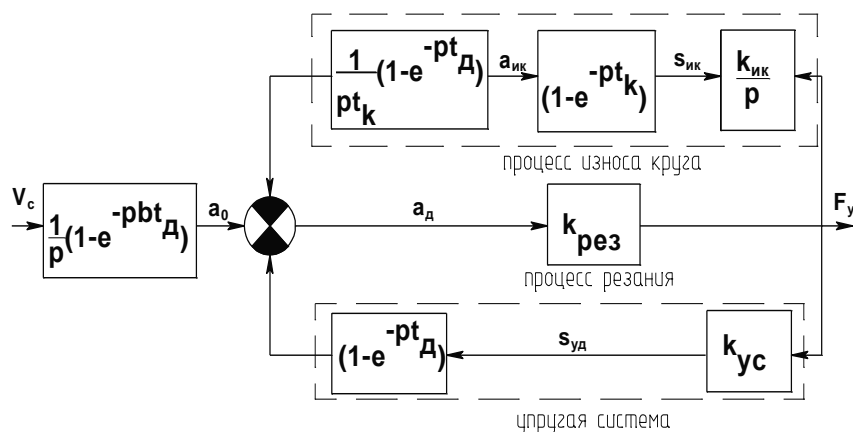
$$W_c(p) = \frac{F_y(p)}{V_c(p)},$$

где  $F_y(p)$  – радиальная сила резания;  $V_c(p)$  – скорость подачи.

Для установившегося процесса шлифования сила резания представляет собой функцию ряда режимных параметров:

$$F = f_1(k_{рез}, q, V_k, b, h),$$

где  $k_{рез}$  – коэффициент, характеризующий режущую способность шлифовального круга;  $q$  – коэффициент, характеризующий физико-химические свойства обрабатываемого материала;  $V_k$  – скорость резания;  $b$  – ширина шлифования, равная при врезном шлифовании ширине обрабатываемой детали;  $h$  – глубина резания.



Упрощенная модель процесса врезного внутреннего шлифования, где  $t_d$  – время оборота детали;  $a_0$ ,  $a_d$  – припуски заданный и снимаемый;  $k_{рез}$ ,  $k_{ик}$ ,  $k_{ус}$  – коэффициенты, определяющие процесс резания

В переходных режимах толщина срезаемого слоя  $a_d$  может существенно изменяться не только в пределах цикла обработки одного изделия, но и в пределах одного оборота обрабатываемой детали. В этом случае для динамического процесса внутреннего врезного шлифования передаточная функция

процесса как объекта управления, соответствующего структурной схеме (рисунок), записывается в виде [8]:

$$W_c(p) = \frac{F_y(p)}{V_c(p)} = \frac{\frac{k_{pez}}{p}(1 - e^{-pb t_d})}{1 + \frac{k_{pez}}{p}(1 - e^{-p t_d})(k_{yc} p + \frac{k_{ук}}{p t_k}(1 - e^{-p t_k}))}$$

где  $k_{pez}$  – коэффициент передачи процесса резания по координате  $y$ ;  $k_{yc}$  – коэффициент передачи упругой системы по координате  $y$ ;  $k_{ук}$  – коэффициент износа круга;  $t_k$  – время одного оборота шпинделя круга (ШК);  $t_d$  – время оборота детали;  $b$  – ширина шлифования.

Передаточная функция процесса шлифования данного вида используется при анализе переходных процессов в объекте управления при воздействии скорости подачи  $V_c(p)$ .

Имея реальную переходную функцию замкнутой системы резания и соответствующую ей вычисленную передаточную функцию, корневым методом, программно определяется расположение её полюсов и нулей в плоскости выбранного параметра расчетной математической модели. По этим расчетным значениям компьютер может делать вывод: устойчива система или нет, каков запас ее устойчивости и может ли оборудование без подналадки продолжать процесс обработки; оптимизировать режимы резания (скорость резания, скорость подачи, толщину снимаемого припуска); определять пригодность режущего инструмента для дальнейшей его эксплуатации или необходимость его замены; управлять качеством обработки деталей; осуществлять мониторинг технического состояния станков в процессе их эксплуатации.

Мониторинг технического состояния станков в условиях производства является актуальной задачей, поскольку направлено на снижение эксплуатационных расходов на поддержание эффективной работы каждого станка и экономическое обоснование стратегии их обслуживания.

Управление качеством обработки, например, колец и роликов подшипников подробно рассмотрено в работах [6, 7]. Обеспечение точности макро- и микрогеометрических параметров, а также физико-механических свойств поверхностей качения деталей подшипников базируется на использовании результатов мониторинга для корректировки режима обработки, в частности изменения подачи круга, так чтобы параметры, определяющие запас устойчивости замкнутой ДС станка, не выходили за установленные пределы.

Таким образом, контроль технологических процессов с использованием виброакустических методов позволяет не только повысить качество продукции, но и сэкономить рабочее время и трудовые затраты, а следовательно, повысить эффективность производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.
2. Аршанский М.М. Вибродиагностика и управление точностью на металлорежущих станках / М.М. Аршанский, В.П. Щербakov. М.: Машиностроение, 1988. 136 с.
3. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков. Ч. 2 / Б.М. Бржозовский, А.А. Игнатъев, В.А. Добряков, В.В. Мартынов. Саратов: СГТУ, 1994. 156 с.
4. Максимов В.П. Измерение, обработка и анализ быстропеременных процессов в машинах / В.П. Максимов, И.В. Егоров, В.А. Карасев. М.: Машиностроение, 1987. 208 с.
5. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков. Ч. 1 / Б.М. Бржозовский, А.А. Игнатъев, В.А. Добряков, В.В. Мартынов. Саратов: СГТУ, 1992. 160 с.
6. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А. Игнатъев, М.В. Виноградов, С.А. Игнатъев и др. Саратов: СГТУ, 2004. 124 с.
7. Кудинов В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. М.: Машиностроение, 1987. 360 с.
8. Михелькевич В.Н. Автоматическое управление шлифованием / В.Н. Михелькевич. М.: Машиностроение, 1975. 304 с.

**Игнатъев Александр Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

**Бондарев Валерий Викторович** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Эргономика и безопасность жизнедеятельности»  
Саратовского государственного технического университета

**Каракозова Вера Алексеевна** –

заведующая лабораторией кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 691.791.5:532.78

**А.А. Казинский**

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ФРОНТА ДЕНДРИТНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СВАРОЧНОГО, НАПЛАВОЧНОГО ШВА

*Рассмотрены вопросы кинетики дендритной кристаллизации в сплавах в переохлаждённой области локально расплавленного объёма в условиях формирования концентрационного пересыщения примесью. Показана возможность реализации процесса кристаллизации в периодическом режиме за счёт задержки в росте кристаллов в начале процесса переохлаждения.*

**A.A. Kazinsky**

### KINETICS OF CONCENTRATED OVERSATURATION BEFORE THE FRONT OF DENDRITIC CRYSTALLIZATION OF WELDING – SURFACING BATH

*The problems of kinetics of dendritic crystallization in the overcooled area and conditions of formation of concentrated oversaturation by admixture have been considered. The possibility of the realization process by the periodic duty by means of blocking of the growth of dendritic crystals at the beginning of the overcooling process.*

Для описания процессов кристаллизации расплава с учётом обогащения приграничного слоя расплава перед фронтом роста дендритов избытком примеси, извлекаемой из зоны формирующегося кристаллического строения сварочно-наплавочного шва, воспользуемся нестационарным уравнением теплопроводности и диффузии примеси в активном районе двухфазной зоны.

Уравнение динамики пересыщения расплава из [1]:

$$l_0 \frac{d\Delta\bar{C}}{dt} + k_m \Delta\bar{C} = m_s(V : \varepsilon) + (1 - k_0) C_0 S_1 N_1 R(\Delta\bar{T}) / S_0, \quad (1)$$

отражающее наличие и взаимосвязь четырех видов физических явлений в системе зоны активного роста дендритов (АРДЗ) – пограничный слой расплава: теплопередачи; роста кристалла, диффузии примеси и движения расплава в пограничном слое с турбулизацией потока приводят к виду

$$l_0 \frac{d\Delta\bar{C}}{dt} + (k_m + k_d) \Delta\bar{C} = m_s(V : \varepsilon) + (1 - k_0) C_0 S_1 N_1 \theta(t) / S_0, \quad (2)$$

где  $k_d = (1 - k_0) \beta_0 C_0 S_1 N_1 \mu_1 / S_0$ ;  $l_0$  – протяженность АРДЗ;  $k_m$  – коэффициент массопередачи;  $C$  – концентрация примеси в расплаве в зоне АРДЗ;  $C_0$  – исходная концентрация примеси в расплаве ванны; плотность потока вещества (примеси) на границе твердой и жидкой фаз  $m_s$  зависит от скорости потока расплава  $V$  и степени шероховатости  $\varepsilon$ ,  $m_s(V : \varepsilon) = \gamma(V) \varepsilon$ ;  $\gamma(V)$  – коэффициент вихревого взвешивания примеси в расплаве ( $1/c$ );  $\varepsilon = \varepsilon(t) = \int_0^t R_1(\Delta\bar{T}(t)) dt$ ;  $R_1 = \mu_1(\Delta\bar{T}(t))$  – скорость движения фронта кристаллизации;  $\mu_1$  – коэффициент роста скорости от переохлаждения;

$$\Delta\bar{T}(t) = \frac{1}{\ell_0} \int_0^{\ell_0} \Delta T(z:t) dz = \theta(t) - \beta_0 \cdot \Delta\bar{C}(t); \quad \Delta\bar{C}(t) = \frac{1}{\ell_0} \int_0^{\ell_0} \Delta C(z:t) dz; \quad \Delta T = T_x - T; \quad \Delta C = C - C_0;$$

$T_x = T_0 - \beta_0 C$ ;  $T_0$  – температура ликвидус чистого компонента растворителя сплава;  $\beta_0$  – коэффициент падения температуры ликвидус в сплаве ( $1/K$ );  $\theta(t)$  – реально действующее переохлаждение относительно температуры ликвидус растворителя сплава;  $k$  – коэффициент разделительной диффузии  $k = C_s/C_l$ , в своём пределе  $k = k_0$ , а  $k_0 < 1$  равновесный коэффициент распределения примеси,  $k_0 = 0,46$  для углерода в стали;  $C_s$  – концентрация примеси в твердой фазе;  $C_l$  – концентрация примеси в жидкой фазе, в пределе  $C_l = C_0$ ;  $\frac{\partial \Psi}{\partial t}$  – скорость роста объёма твёрдой фазы.

Первое слагаемое правой части (2) определяет плотность потока вещества, легкоплавкой примеси, размываемой из двухфазной зоны и её активного района под влиянием вихреобразования в пограничном слое от движения расплава. Второе слагаемое определяет прирост концентрации примеси в АРДЗ вследствие обогащения исследуемой фазы ликвирующими элементами в ходе кристаллизации. Обогащение исследуемой фазы ликвирующими элементами от растущих гомогенов может быть задано добавочным слагаемым, но с величиной  $N_2$ , соответственно скоростью роста  $\mu_2$  и коэффициентом распределения примеси  $k_{02}$ , площадью поверхности  $S_2$  и так далее.

$$l_0 \frac{d\Delta\bar{C}}{dt} + (k_m + k_d) \Delta\bar{C} = m_s(V : \varepsilon) + ((1 + k_0) C_0 S_1 N_1 \theta(t) + (1 - k_{02}) C_0 S_2 N_2 \mu_2 \theta_2(t)) / S_0, \quad (3)$$

$$l_0 \frac{d\Delta\bar{C}}{dt} + (k_m + k_d) \Delta\bar{C} = \quad (4)$$

$$= (1 - k_0) C_0 S_1 N_1 \mu_1 \theta(t) / S_0 + (1 - k_{02}) C_0 S_2 N_2 \mu_2 \theta(t) \cdot g / S_0 + \mu_1 \gamma \int_0^t [\theta(t') - \beta_0 \Delta\bar{C}(t')] dt.$$

Дифференцируя по  $t$  обе части уравнения и приводя к каноническому виду:  $X = \theta(t)$ ,  $Y = \Delta\bar{C}(t)$ ;  $2h = (k_m + k_d) / l_0$ ;  $k^2 = \beta_0 \mu_1 \gamma / l_0$ ;  $A = \mu_1 \gamma / l_0$ ;  $B = (1 - k_0) C_0 S_1 N_1 \mu_1 / (l_0 S_0)$ ,  $C' = (1 - k_{02}) C_0 S_2 N_2 \mu_2 g / (l_0 S_0)$ , получаем систему, описываемую уравнением:  $\ddot{Y} + \frac{2h}{A} \dot{Y} + \frac{k^2}{A} Y = X + \frac{B+C}{A} \dot{X}$ .

Рассмотрим характеристики звена, как не типового, полагая  $c_0 = 1$ ;  $c_1 = 2h$ ;  $c_2 = k^2$ ;  $b_0 = B + C$ ;  $b_1 = A$ , Лапласово изображение дифференциального уравнения при нулевых начальных условиях:  $(c_0 p^2 + c_1 p + c_2) x_{вых}(p) = (b_0 p + b_1) x_{вх}(p)$ .

Передаточная функция есть отношение Лапласова изображения выходной величины к Лапласову изображению входной:

$$K(p) = \frac{b_0 p + b_1}{c_0 p^2 + c_1 p + c_2}. \quad (5)$$

Звено, описываемое дифференциальным уравнением, приведённым выше, разомкнуто, так как нет обратной связи между пересыщением и переохлаждением, хотя эта связь может быть обнаружена. Определим эту связь и представим в виде звена (2). Получим система регулирования, состоящую из двух параллельно, но встречно включённых звеньев (обратная связь).

Передаточные функции звеньев соответственно равны  $K_1(p)$  и  $K_2(p)$ , передаточная функция замкнутого звена:

$$K(p) = \frac{K_1(p)}{1 \mp K_1(p) K_2(p)}, \quad (6)$$

причём в рассматриваемом случае движения дендритного фронта в (6) должен быть знак (+). Второе звено представляет собой физическую зависимость переохлаждения от концентрации примеси

$$\Delta\bar{\theta}(t) = \int_0^t (\theta(t') - \beta_0 \Delta\bar{C}(t')) dt, \quad \text{дифференцируя по } t \text{ обе части равенства: } \frac{d\Delta\bar{\theta}(t)}{dt} = \theta(t) - \beta_0 \frac{d\Delta\bar{C}(t)}{dt},$$

$$\dot{X} = X - \beta_0 \dot{Y}, \quad \beta_0 \dot{Y} = X - \dot{X}.$$

Полученное линейное дифференциальное уравнение соответствует изодромному звену, описываемое уравнением  $\frac{dY}{dt} = k_3 X + k_4 \frac{dX}{dt}$ , которое можно представить в виде:  $\frac{1}{k_3} \frac{dY}{dt} = X + \frac{k_4}{k_3} \frac{dX}{dt}$ , для случая, когда  $k_3 = 1/\beta_0$ , а  $k_4 = -1/\beta_0$ .

Передающая функция такого звена:  $K_2(p) = k_3 \sqrt{1+w^2}/w$ , где  $T = k_4/k_3$  – постоянная изодромного звена, для нашего случая  $T = -1$ , тогда:  $K_2(p) = \frac{k_3(1-p)}{p}$ .

Получив передаточные функции звеньев, вычислим передаточную функцию системы:

$$K(p) = \frac{K_1(p)}{1 + K_1(p)K_2(p)} = \frac{b_0 p + b_1}{(c_0 p^2 + c_1 p + c_2)(1 + K_1(p)K_2(p))}.$$

Учитывая  $S_0 = -b_0 k_3$ ,  $S_1 = b_0 k_3 - b_1 k_3$ ,  $S_2 = b_1 k_3$ , окончательно передаточная функция системы:

$$K(p) = \frac{b_0 p^2 + b_1 p}{c_0 p^3 + (c_1 + S_0)p^2 + (c_2 + S_1)p + S_2}. \quad (7)$$

Проведя замену коэффициентов по схеме:  $c_0 = 1$ ;  $c'_1 = c_1 + S_0$ ;  $c'_2 = c_2 + S_1$ ;  $c'_3 = S_2$ ; получим:

$$K(p) = \frac{b_0 p^2 + p}{p^3 + c'_1 p^2 + c'_2 p + c'_3}. \text{ Интересно, что } S_1 = -S_0 + S_2.$$

Изображение реакции системы на переохлаждение  $x(t) = b_2 t$ :

$$L(y(t)) = K(p) \cdot L(x(t)); \quad L(x(t)) = L(b_2 t) = b_2 / p^2.$$

Тогда:

$$y(t) = L^{-1} \left\{ \frac{(b_0 p^2 + b_1 p) \cdot b_2}{(p^3 + c'_1 p^2 + c'_2 p + c'_3) p^2} \right\} = L^{-1} \left\{ \frac{b_0 b_2 p + b_1 b_2}{p^3 + c'_1 p^2 + c'_2 p + c'_3} \right\},$$

где  $b_0, b_1, c'_1, c'_2, c'_3$  – независимые коэффициенты.

Итак, имеем функцию, которая является Лапласовым изображением переходной функции  $y(t) = x_{\text{вых}}(t)$  по регулируемой координате в замкнутой системе при линейном возмущающем воздействии и нулевых начальных условиях. Далее ход решения зависит от корней характеристического уравнения  $D(p) = 0$ , то есть  $p^3 + c'_1 p^2 + c'_2 p + c'_3 = 0$ .

Произведя замену коэффициентов на  $p^3 + ap^2 + bp + C = 0$ , подстановкой  $p = y - \frac{a}{3}$  приводится к «неполному» виду  $y^3 + ty + q = 0$ , где  $t = -\frac{a^2}{3} + b$ ,  $q = 2\left(\frac{a}{3}\right)^3 - \frac{ab}{3} + C$ . При ненулевом воздействии

$\tilde{X}(S) = \frac{M(S)}{D(S)} G(S)$ , где внешнее воздействие представляет дробно-рациональную функцию

$G(S) = \frac{M_1(S)}{N_1(S)}$ , а  $\tilde{X}(S) = \frac{\tilde{M}(S)}{\tilde{D}(S)}$ , последнее представляет изображение переходной функции, тогда реше-

ние  $x(t)$ : при одном нулевом корне  $\tilde{D}(S) = S \tilde{D}_1(S)$  формулу переписывают в вид  $x(t) = \sum_{i=1}^n \frac{\tilde{M}(\lambda_i)}{\lambda_i \tilde{D}_1(\lambda_i)} e^{\lambda_i t}$ .

Расчёт по программе для исходных условий:  $\mu_1 = 1,4 \cdot 10^{-7}$  м/(с·К);  $\mu_2 = 1,3 \cdot 10^{-7}$  м/(с·К);  $\gamma = 6,7 \cdot 10^{-4}$  м/с;  $l_0 = 2,0 \cdot 10^{-5}$  м;  $C_0 = 0,499$ ;  $C_1 = 0,5$ ;  $k_{01} = 0,8$ ;  $N_1 = 10^7$ ;  $S_1 = 3,14 \cdot 10^{-13}$  м<sup>2</sup>;  $k_{02} = 0,8$ ;  $N_2 = 10^3$ ;  $S_2 = 2,4 \cdot 10^{-13}$  м<sup>2</sup>;  $h = 10^0$ /с;  $\rho = 7,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $\beta_0 = 90^\circ/\%$ ;  $k_m = 6,7 \cdot 10^{-6}$  м/с;  $S_0 = 1,0 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>, даёт следующие результаты:

$$y'(t_0) \qquad R_1(t)$$

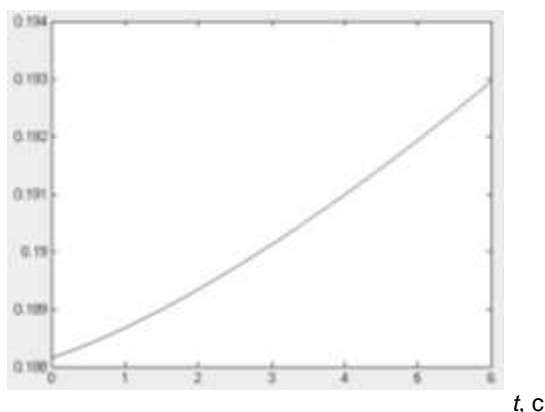


Рис. 1. Пересыщение примесью перед дендритным фронтом кристаллизации, %

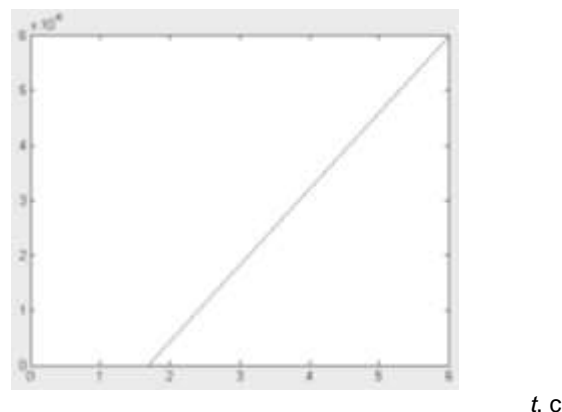


Рис. 2. Скорость движения дендритного фронта в условиях линейно нарастающего переохлаждения, м/с

Результаты указывают на существование задержки в росте дендритных кристаллов при переохлаждении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Самойлович Ю.А. Системный анализ кристаллизации слитка / Ю.А. Самойлович. Киев: Наукова думка, 1983. 248 с.

**Казинский Алексей Алексеевич** –

кандидат технических наук, доцент

кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»

Саратовского государственного технического университета

УДК 526:621.9

**Е.С. Киселев, С.А. Романов, Е.Н. Лексин, О.В. Благовский**

#### **НАПРАВЛЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК**

*Представлены результаты экспериментальных исследований эффективности комбинированной обработки заготовок шлифованием с продольной подачей круга и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием. Установлено, что сочетанием элементов режима обработки можно осуществить направленное формирование технологических остаточных напряжений в заготовках из коррозионно-стойких и низколегированных сталей.*

**E.S. Kiselev, S.A. Romanov, E.N. Leksin, O.V. Blagovsky**

#### **THE DIRECTED FORMING OF RESIDUAL STRESSES BY USING TECHNOLOGICAL FACILITIES OF COMBINED PROCESSING OF BLANKS**

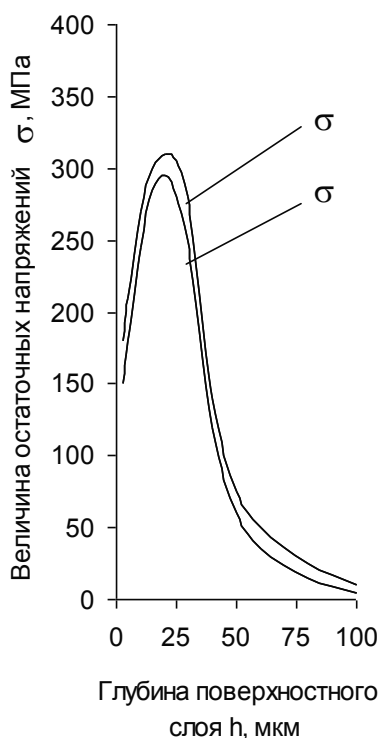


Рис. 1. Остаточные напряжения в поверхностном слое шлифованной заготовки: круг 1 – 600×30×305 24A25HC17K26, рабочая скорость  $V_k = 50$  м/с, окружная скорость заготовки  $V_s = 20$  м/мин, продольная скорость заготовки  $V_c = 30$  мм/мин, глубина резания  $t = 0,02$  мм

*The results of experimental researches of efficiency of combined processing of blanks by grinding with line feed of disk and ultrasonic hardmetal burnishing are presented. It is established, that it is possible to realize directed forming of technological residual stresses in blanks of rust-resisting and low-alloy steels by combination of production mode elements.*

Общеизвестно, что основным методом окончательной обработки в машиностроении является шлифование. Однако наряду с очевидными преимуществами (высокая размерная точность, малые значения высотных и шаговых параметров шероховатости и др.), этот вид механической обработки, выполняемый при смешанном режиме высокоскоростного микропесания и пластического деформирования с экстремально высоким теплообразованием сопровождается большой вероятностью дефектообразования в поверхностных слоях заготовок. Учитывая, что в современном машиностроении постоянно увеличивается доля деталей, изготавливаемых из труднообрабатываемых материалов и отличающихся низкими теплофизическими свойствами, а следовательно – повышенной склонностью к структурно-фазовым превращениям в поверхностных слоях, использование на финишных операциях шлифования все более ограничено. Особенно остра эта проблема в самолетостроении, где высок удельный вес заготовок из коррозионностойких и титановых сплавов, склонных при шлифовании к образованию в поверхностных слоях растягивающих остаточных напряжений. Обработка заготовок поверхностно-пластическим деформированием (ППД) наоборот, формирует в поверхностном слое сжимающие остаточные напряжения, но не обеспечивает геометрическую точность формы заготовки и не может быть использо-

зована для обеспечения окончательной диаметральной точности круглых деталей.

В Ульяновском государственном техническом университете предложен новый способ комбинированной обработки, включающий операции шлифования и ультразвукового (УЗ) выглаживания твердосплавной пластиной в конце цикла круглого наружного шлифования с продольной подачей заготовки. Использование в качестве выглаживающего элемента твердосплавной пластины, имеющей с заготовкой полосовой контакт, объясняется стремлением достичь более высокой производительности и экономическими причинами.

Наложение УЗ-колебаний на выглаживатель способствует существенному снижению затрат на трение в зоне контакта, а следовательно – снижению теплосилового напряжения и релаксации растягивающих остаточных напряжений, возникающих при выглаживании [1].

Исследования проводили на экспериментальной установке, созданной на базе круглошлифовального станка 3М151, оснащенного устройством для УЗ-выглаживания. В процессе исследований контролировали составляющие силы комбинированной обработки с помощью тензометрических центров станка, контактные температуры с использованием метода полумискусственной термопары, остаточные напряжения в поверхностном слое – прибором Ситон-АРМ. В качестве обрабатываемого материала использовали заготовки из коррозионностойкой подшипниковой стали 95Х18.

Как установлено экспериментальными исследованиями (см. рисунок) после шлифования в поверхностном слое заготовки как в осевом ( $\sigma_x$ ), так и в касательном ( $\sigma_z$ ) направлениях возникают растягивающие остаточные напряжения. Введение в состав операции УЗ-твердосплавного выглажи-



вания коренным образом меняет картину формирования остаточных напряжений (рис. 2). ППД не только релаксирует растягивающие остаточные напряжения, но и обеспечивает в поверхностном слое глубиной до 50 мкм образование благоприятных остаточных напряжений сжатия. Изменяя элементы режима обработки (см. рис. 2), можно осуществлять направленное формирование технологических остаточных напряжений. Однако анализ результатов показывает, что их наибольшие (по абсолютной величине) значения обеспечиваются на режиме, при котором шлифование осуществляется при минимальных значениях глубины резания, близких к выхаживанию. Полученные результаты хорошо согласуются с замерах контактных температур и составляющих силы обработки. Многофакторный эксперимент позволил установить, что на составляющие силы комбинированной обработки наибольшее влияние оказывает сила прижима индентора к заготовке  $P$ , на контактные температуры в зоне шлифования – скорость продольной подачи заготовки  $V_c = 36$ , в зоне выглаживания – как и на силы обработки – сила  $P$ .

Таким образом, варьируя элементами режима комбинированной обработки, можно осуществлять направленное формирование технологическими остаточными напряжениями в поверхностных слоях изготавливаемых деталей.

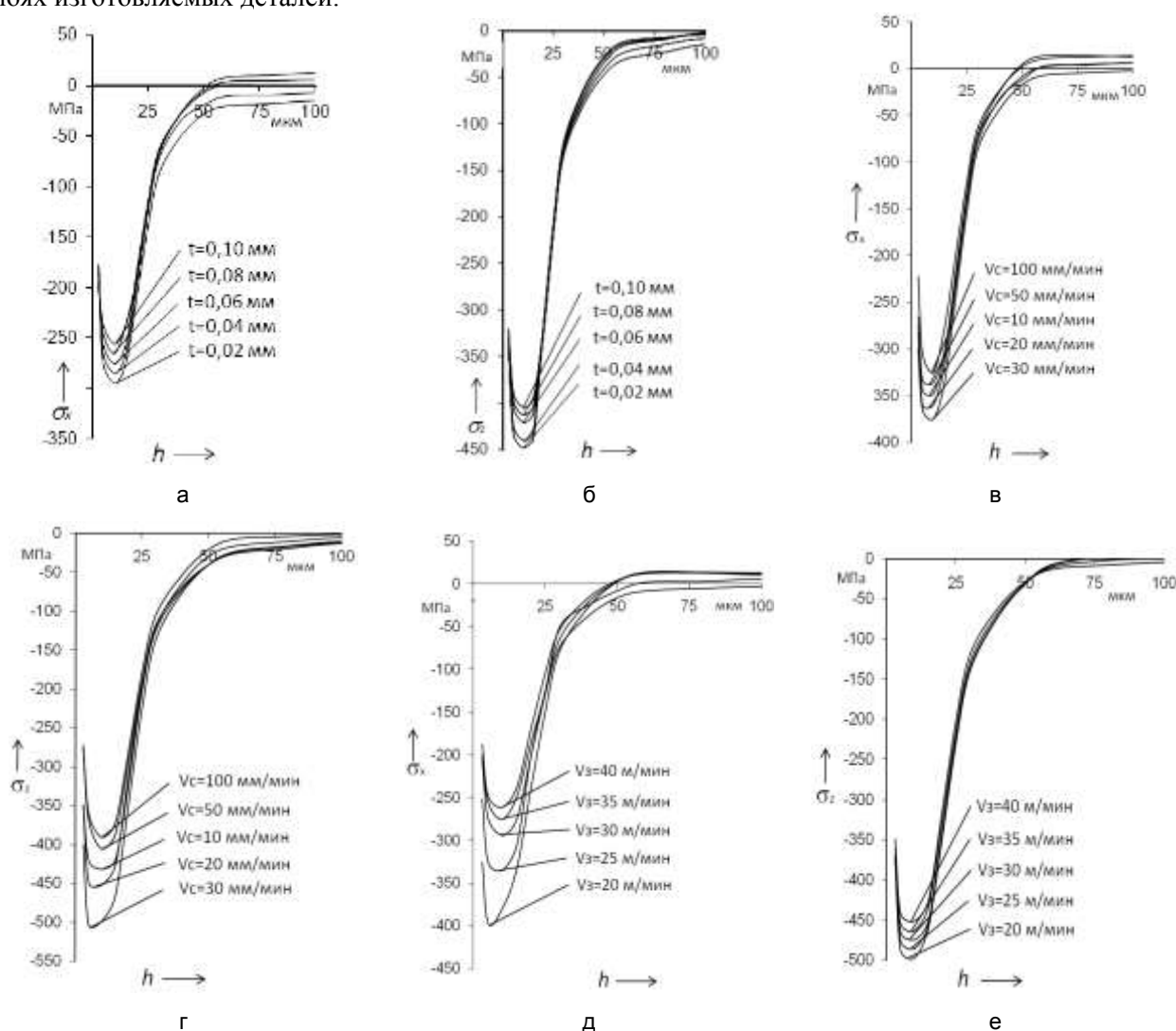


Рис. 2. Формирование технологических остаточных напряжений при комбинированной обработке шлифованием и УЗ-твердосплавным выглаживанием: а, в, д – осевые; б, г, е – касательные; остальные обозначения – см. подпись к рис. 1

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев Е.С. Механическая обработка заготовок в условиях критического тепломассопереноса / Е.С. Киселев, В.Н. Ковальногов // Избранные труды Российской школы по проблемам науки и технологий. М.: РАН, 2008. 250 с.

**Киселев Евгений Степанович** –  
доктор технических наук, профессор  
Ульяновского государственного технического университета

**Романов Сергей Александрович** –  
аспирант Ульяновского государственного технического университета

**Лексин Евгений Николаевич** –  
магистрант Ульяновского государственного технического университета

**Благовский Олег Валерьевич** –  
магистрант Ульяновского государственного технического университета

УДК 621.981.2

**А.Н. Клименков**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ  
ВЫСОКОРЕСУРСНЫХ ТРУБ МЕТОДАМИ ГИБКИ**

*Описана математическая модель процесса формообразования труб гибкой. Предлагается использовать модель для управления операцией гибки трубчатых заготовок на трубогибочных машинах с ЧПУ. Обсуждаются принципы и критерии управления.*

**A.N. Klimenkov**

**SIMULATION OF FORMING PROCESS  
OF HIGHLY RESOURCED TUBES BY CURVING METHOD**

*Mathematical model of the process of tube preform forming by bending combined with stretching is described. The model is proposed for controlling the process of bending tube preforms in bending-machines equipped with numerical control. Principles and criteria of the process control are discussed.*

В промышленности широко используются гнутые трубы, формообразование которых осуществляется на гибочных и гибочно-растяжных машинах. На гибочно-растяжных машинах выполняется гибка особо ответственных трубопроводов, к которым предъявляются повышенные требования к точности.

В настоящее время гибочно-растяжные машины оснащаются системами ЧПУ, позволяющими реализовать различные пути нагружения. Для формирования программы управления применяют различные методы. При этом наиболее перспективным является метод, основанный на математическом моделировании процесса формообразования. В этом случае управление процессом осуществляется по

текущей информации о напряженно-деформированном состоянии (НДС) заготовки в процессе ее деформирования и дается предварительная оценка результата без выполнения опытных работ.

Зная напряженно-деформированное состояние, можно оценить вероятность появления технологических отказов.

При формообразовании возможны следующие технологические отказы:

- разрыв наружных волокон при больших величинах кривизны трубы и при недопустимой степени растяжения заготовки;
- образование гофра на внутренней сжатой стороне трубы;
- недопустимая разнотолщинность стенок трубы;
- недопустимая овальность поперечного сечения трубы;
- недопустимо большая величина пружинения (упругие деформации) заготовки при снятии технологических нагрузок.

В работах [1-3] изложены некоторые теоретические предпосылки построения математических моделей процессов гибки труб. На основе этих работ, а также работ [4, 5] разработана математическая модель процесса формообразования трубчатых заготовок гибкой и гибкой с растяжением.

Расчет НДС выполняется по деформационной теории пластичности с использованием гипотезы плоских сечений. История деформирования учитывается разбиением программы нагружения на три последовательных этапа: равномерного растяжения, мгновенного изгиба на заданную кривизну при постоянной величине растягивающей силы и последующего растяжения заготовки в контакте с пуансоном. Если формообразование заготовки осуществляется только гибкой, то первый и последний этапы нагружения отсутствуют.

Материал заготовки принимается упругопластическим, подчиняющимся в упругой области закону Гука, а в пластической области – степенному закону:

$$\sigma = A(e_0 + e)^m, \quad (1)$$

где  $\sigma$ ,  $e$  – напряжение и деформация;  $A$ ,  $e_0$ ,  $m$  – параметры кривой упрочнения.

Распределение деформаций по высоте сечения заготовки принимается линейным:

$$e = e_1 + \chi(y - y_n) + \Delta e_3, \quad (2)$$

где  $e_1$  – деформация первого этапа нагружения;  $\chi$  – кривизна трубы в месте контакта с пуансоном;  $y$  – текущая координата поперечного сечения трубы;  $y_n$  – координата слоя, совпадающего с осью поворота, т.е. с осью, относительно которой происходит разделение сечения на области пластической догрузки и разгрузки на втором этапе нагружения;  $\Delta e_3$  – приращение деформации на третьем этапе нагружения. Величины  $e_1$ ,  $y_n$ ,  $\Delta e_3$  определяются из уравнений равновесия, записанных на соответствующем этапе деформирования заготовки.

Нагружение задается законом  $N_k(\alpha_k)$ , где  $N_k$  – растягивающая сила, приложенная к свободному участку заготовки;  $\alpha_k$  – угол схода заготовки с поверхности пуансона.

Распределение продольной силы  $N$  по углу охвата контура пуансона, с учетом закона трения Кулона, определяется зависимостью

$$N = N_k \exp(-\mu \int |d\alpha|), \quad (3)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения.

Таким образом, задав закон изменения растягивающей силы в зависимости от угла охвата заготовки в каждый текущий момент времени, определяют напряженно-деформированное состояние трубчатой заготовки.

Пружинение оценивается на конечной стадии деформирования в предположении о полной разгрузке каждого сечения заготовки. В результате упругой разгрузки полностью снимается изгибающий момент

$$M_c = \int_F \sigma(y - y_c) dF, \quad (4)$$

где  $y_c$  – координата центра тяжести сечения;  $F$  – площадь сечения заготовки.

Оптимальный путь нагружения определяется путем перебора кинематически возможных путей нагружения с текущей проверкой условий появления перечисленных выше технологических отказов. Все характерные для рассматриваемой технологической операции признаки брака имеют деформационную природу, поэтому критерии их возникновения формулируются в виде условий достижения текущими деформациями заготовки соответствующих предельных значений.

Приведенная методика реализована в виде компьютерной программы, по которой выполнен численный эксперимент по определению влияния основных параметров технологической операции на напряженно-деформированное состояние трубчатой заготовки.

Для проверки принятых в расчетной модели гипотез проведены эксперименты по гибке тонкостенных труб. На рисунке приведены графики распределения деформаций и напряжений по высоте сечения трубы.

Расхождение величин деформаций, полученных расчетным и экспериментальным путем, не превышает 5-7%. Представленная математическая модель позволила оценить влияние программы нагружения на величину критического радиуса изгиба. Так, если процесс гибки осуществлять после предварительного растяжения заготовки до достижения предела текучести, то для трубы диаметром 70 мм и толщиной стенки 0,5 мм из сплава Д16М (с параметрами кривой течения  $A = 674$  МПа;  $m = 0,261$ ;  $e_0 = 0,004$ ) критический радиус изгиба будет равен 670 мм.

В результате компьютерного моделирования получаем программу нагружения, представленную в виде траектории движения конца трубчатой заготовки. Программа обеспечивает устойчивый процесс формообразования заготовки при условии минимизации величины пружинения. Полученная траектория может быть пересчитана в перемещения рабочих органов гибочно-растяжной машины.

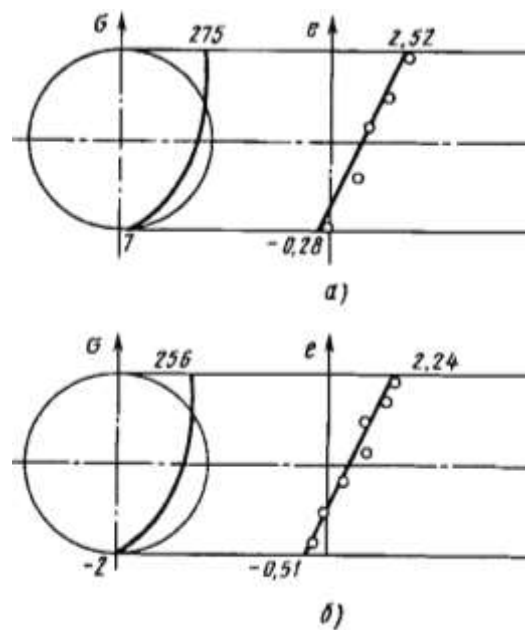
#### Вывод

Методика моделирования процесса формообразования профильных деталей на профилегибочных станках при определенных условиях может применяться для анализа операций гибки труб. Предлагаемые принципы формирования программы управления процессом гибки труб можно использовать для управления гибочно-растяжным оборудованием.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов М.И. Штамповка деталей из трубчатых заготовок / М.И. Горбунов. М.: Машгиз, 1960.
2. Лысов М.И. Пластическое формообразование тонкостенных деталей авиатехники / М.И. Лысов, И.М. Закиров. М.: Машиностроение, 1983.
3. Розов Н.В. Производство труб / Н.В. Розов. М.: Машиностроение, 1974.
4. Одинг С.С. Система автоматизированного проектирования технологической операции и синтеза управляющих программ формообразования деталей из профиля / С.С. Одинг, А.А. Сидоренко и др. // Кузнечно-штамповочное производство. 1993. № 9. С. 18-25.
5. Одинг С.С. Моделирование процесса формообразования труб / С.С. Одинг, А.Н. Клименков // Кузнечно-штамповочное производство. 1999. № 3. С. 5-6.

**Клименков Андрей Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, директор филиала Саратовского государственного технического университета, г. Балашов



Распределение напряжений и деформаций по высоте трубы: а – сталь 10; б – сплав Д16М; — — — расчет; о – эксперимент

Л.Я. Кожуховская, Ю.А. Шикин

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАЛОВ НА СТАНКАХ С ЧПУ

*Выполнены исследования факторов, определяющих особенности проектирования токарных операций обработки криволинейных поверхностей.*

L.Ya. Kojuhovskaya, Yu.A. Shikin

## ENSURING OF ACCURACY PROCESSING OF SHAFTS CURVILINEAR SURFACES WITH CNC

*There are results of researches of the factors which are determinating the features of designing of turning operations of curvilinear surfaces processing in the article.*

Детали типа тел вращения с криволинейными поверхностями широко используются в различной технике. Такие детали находят широкое применение в узлах газо- и гидрозарпорной арматуры, в качестве валков, знаков в пресс-формах, используемых при профилировании изделий из пластмассы и резины. Их конструктивно-технологические параметры могут изменяться от  $d = 15 \div 60$  мм,  $L/d = 5 \div 10$ , точность формы и диаметрального размера IT 6-8.

Обработка деталей типа тел вращения с криволинейными поверхностями представляет значительную сложность, связанную с достижением точности их формы. Это вызвано влиянием ряда факторов, проявляющихся в процессе обработки, таких как погрешность установки, упругие перемещения в технологической системе и др., и требует разработки технологических процессов на основе эффективного использования технологических возможностей станков с ЧПУ.

Принятая практика разделения криволинейной поверхности на равные отрезки при разработке расчетно-технологических карт для станков с ЧПУ не в полной мере отвечают обеспечению точности. Это связано с тем, что под влиянием первичных погрешностей в процессе обработки возникают отклонения криволинейной поверхности от номинального профиля, на каждом отрезке эти отклонения не равны между собой. Это определило необходимость совершенствования методик подготовки расчетно-технологических карт (РТК), используемых при разработке управляющих программ обработки на станках с ЧПУ. При разработке технологических операций необходимо учитывать не только особенности конструкторско-технологических характеристик деталей с криволинейными поверхностями, но и технологические возможности станков с ЧПУ.

При формировании и выборе структур технологических операций обработки деталей с криволинейными элементарными поверхностями на станках с ЧПУ важным критерием является требуемая точность обработки. Одним из подходов к обеспечению точности обработки криволинейных поверхностей является разработка операций на основе методологии ситуационного управления процессом принятия решений на этапах проектирования и производства [1], которая позволяет учитывать влияние факторов, определяющих точность обработки на различных этапах, схемы и формы криволинейных поверхностей.

В настоящей работе выполнены исследования факторов, определяющих особенности проектирования токарных операций обработки криволинейных поверхностей. Особое внимание уделено обеспечению точности обработки наружных поверхностей на станках с ЧПУ на этапе разработки РТК. Весьма важным является на этом этапе определение числа и координат опорных точек, в которых возможно управление точностью обработки криволинейных поверхностей за счет изменения направления движения режущего инструмента или режимов обработки [2]. При этом необходимо учитывать не только форму криволинейных поверхностей, их расположение относительно конструкторских и технологических баз, но и влияние первичных погрешностей на отклонение их формы.

Анализ конструкторско-технологических признаков группы валов с криволинейными поверхностями показал, что их профиль может быть описан различными кривыми второго порядка (сектор

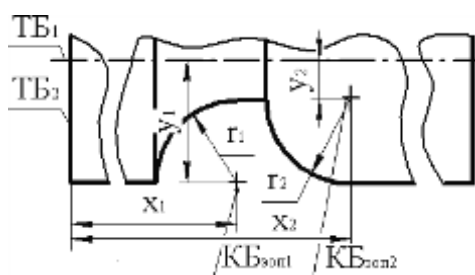
окружности, эллипса, параболы, гиперболы и др.), представленными на рис. 1 б. При проектировании технологической операции конструкторские (КБ) и технологические базы (ТБ) часто не совпадают. Это потребовало разработки методики установления размерных связей криволинейных поверхностей с технологическими базами и инструментом в системе координат станка с ЧПУ, и учета их изменений в процессе обработки.

Принятое математическое представление криволинейных поверхностей в канонической форме, используемой конструктором при проектировании деталей, не всегда соответствует задачам при разработке технологических операций и формированию РТК для станков с ЧПУ. На различных этапах обработки требуется неоднократных переход на новую систему координат для каждой криволинейной поверхности детали. Для повышения точности и снижения затрат времени на разработку РТК разработана методика установления размерных связей криволинейных поверхностей с ТБ и инструментом в системе координат станка с ЧПУ, позволяющая учитывать их изменение под влиянием погрешности установки и упругих деформаций при различных схемах и этапах обработки (черновое, получистовое, чистовое точение).

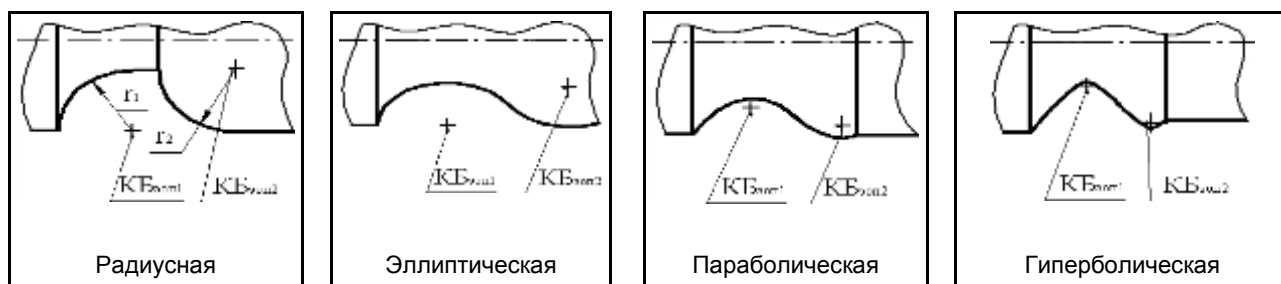
С этой целью рассмотрим на примере приведения криволинейной поверхности радиусного типа к виду, соответствующему ее представлению в системе координат станка с ЧПУ, учитывая принцип совмещения конструкторских и технологических баз. В данном примере в качестве КБ принят центр дуги, описывающей эту поверхность:  $R^2 = x^2 + y^2$ . При обработке на токарных станках технологическими базами являются ось вращения и торец заготовки. Используя расчетную схему (рис. 1 а), преобразуя каноническое уравнение в системе координат станка с ЧПУ в плоскости ХОУ, получим

$$y = y_0 + \sqrt{R^2 - (x_0 - x)^2}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус кривизны поверхности, описываемой сектором окружности;  $x, y$  – текущие координаты криволинейной поверхности;  $x_0, y_0$  – координаты центра радиусной поверхности в системе координат станка с ЧПУ.



а



б

Рис. 1. Размерные связи криволинейной поверхности с КБ и ТБ в системе координат станка с ЧПУ

Предложенная методика преобразования справедлива и для всех типов криволинейных поверхностей (рис. 1 б).

При обработке криволинейных поверхностей наиболее значимым показателем является точность их формы. Факторами, оказывающими наибольшее влияние на отклонение формы поверхностей от номинального профиля  $\Delta\Phi$ , являются погрешность установки (до 35%) и погрешность обра-

ботки, вызванная упругими перемещениями в технологической системе под действием сил резания (до 40%) (в суммарной погрешности обработки).

Рассмотрим изменение текущей координаты криволинейной обрабатываемой поверхности в направлении оси Y под действием погрешности установки. С этой целью разработана расчетная схема, представленная на рис. 2.

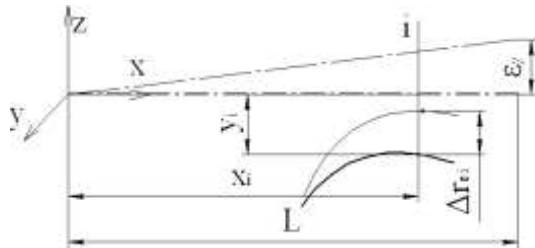


Рис. 2 Расчетная схема для определения отклонения текущей координаты криволинейной обрабатываемой поверхности

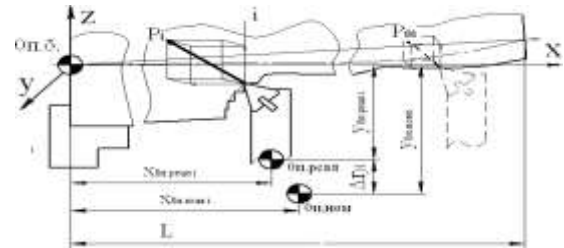


Рис. 3 Расчетная схема для определения отклонения диаметрального размера под влиянием упругих перемещений

Расчетная схема (рис. 2) позволяет определить отклонения криволинейной обрабатываемой поверхности в заданном сечении, под влиянием погрешности установки и их изменения на различных этапах обработки. Это позволило установить зависимость, которая учитывает форму обрабатываемой поверхности, вылет заготовки, заданную координату положения режущего инструмента при различных схемах обработки:

$$\Delta r_{ei} = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \frac{\epsilon_y}{L} \sin \left[ \frac{\pi L + \epsilon_y}{2L} - \arctan \left( \frac{y_i}{x_i} \right) \right], \quad (2)$$

где  $x_i, y_i$  – проекция точки криволинейной поверхности в заданном сечении в системе координат станка на ось X и Y соответственно;  $\epsilon_y$  – погрешность установки;  $L$  – вылет заготовки.

Смещение заготовки под влиянием погрешности установки приводит к неравномерности снимаемого слоя металла на каждом  $i$ -м переходе и зависит от формы поверхности и этапа ее обработки. Это приводит к непостоянной остаточной величине срезаемого слоя. Как показали исследования, в процессе обработки, силы резания изменяются под влиянием этой величины (рис. 3).

Используя расчетную схему для определения упругих перемещений при консольном закреплении детали как балки переменного сечения, получаем зависимость погрешности диаметрального размера. При изменении схемы обработки изгибающий момент позволяет учитывать схему установки, а момент инерции плоского сечения позволяет учитывать влияние формы криволинейной поверхности на отклонение диаметрального размера  $\Delta d$  в сечении с заданными координатами.

Для случая черновой обработки радиусной поверхности  $R$ , консольном закреплении заготовки получена зависимость позволяющая рассчитать величину упругих перемещений и погрешности формы этой поверхности в сечении с текущими координатами  $x, y$ :

$$\Delta r_{yi} = \frac{2 \cdot P_y \cdot \sqrt{R^2 - x^2} (2 \cdot L + x) + (M \cdot N + 2 \cdot R) \cdot L + R^2 \cdot N + M \cdot R}{E \cdot \pi}, \quad (3)$$

где  $P_y$  – радиальная составляющая сил резания;  $r$  – радиус кривизны упруго перемещаемой поверхности;  $L$  – вылет заготовки;  $x$  – координата текущего сечения; принято обозначение  $M = 2x$ ;  $N = \arcsin(x/R)$ .

Выявленные закономерности позволяют учитывать влияние погрешности установки и упругих перемещений на погрешность формы криволинейных элементарных поверхностей  $\Delta \Phi$  при различных условиях обработки на станках с ЧПУ.

При разработке РТК, определение числа и координат основных и вспомогательных опорных точек, численное значение погрешностей размеров и формы использованы в качестве критериев. Необходимость установления координаты опорной точки определяется из условия:

$$\Delta \Phi_i < 2 \sqrt{\Delta r_{ei}^2 + \Delta r_{yi}^2}. \quad (4)$$

Из условия (4) видно, что при превышении среднеквадратичного отклонения допуска на погрешность формы  $\Delta F$  принимается решение о введении координаты дополнительной опорной точки.

С целью определения числа вспомогательных опорных точек, рассмотрим случай удовлетворяющий условию (4) как увеличение числа опорных точек на 1, откуда их число равно количеству случаев превышения среднеквадратичного отклонения допуска на погрешность формы  $\Delta F$ .

Координаты вводимых опорных точек:

$$\begin{pmatrix} x'_i = x_i \\ y'_i = y_i + \sqrt{\Delta r_{xi}^2 + \Delta r_{yi}^2} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Разработанная методика формирования структур операций и расчетно-технологических карт для обработки валов с криволинейными поверхностями на станках с ЧПУ позволяет учитывать форму криволинейных поверхностей, этапы обработки, схемы установки, при определении числа и координат опорных точек. Это позволяет повысить качество разработки операций и расчетно-технологических карт, за счет учета погрешности установки и упругих перемещений на проектно-этапе, сократить сроки разработки операций и РТК обработки криволинейных поверхностей широкой номенклатуры, определить область эффективного управления в реальном времени, а также управления точностью путем предсказания траектории движения режущего инструмента в опорных точках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кожуховская Л.Я. Повышение качества технологических решений путем ситуационного управления процессом формирования структур в условиях многономенклатурных производств / Л.Я. Кожуховская // Известия вузов. Машиностроение. 2003. № 7. С. 23-29.

2. Кожуховская Л.Я. Автоматизированная поддержка принятия решений при проектировании операций обработки валов с криволинейными поверхностями: сб. науч. тр. по материалам Междунар. конф. / Л.Я. Кожуховская, Ю.А. Шикин // ММГТ-22. 2009. С. 184-186.

**Кожуховская Людмила Яковлевна** –  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов»  
Саратовского государственного технического университета

**Шикин Юрий Анатольевич** –  
аспирант кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.923.015

**А.М. Козлов, А.А. Козлов**

### **ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ВАЛОВ ФОРМИРОВАНИЕМ ТИПА НАПРАВЛЕНИЯ НЕРОВНОСТЕЙ ИХ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

*Представлена конструкция абразивного инструмента для шлифования цилиндрических деталей, обеспечивающего повышение износостойкости обработанной поверхности при эксплуатации.*



## SHAFTS' WEAR-RESISTANCE RISING BY CREATING SURFACE-DEVIATIONS IN A CERTAIN DIRECTION IN THE PROCESS OF GRINDING

*The abrasive instrument construction is presented for cylindrical parts' grinding, providing wear-resistance rising of treated surface-deviations during running process.*

Анализ условий эксплуатации деталей машин показывает, что значительная их часть работает в условиях подвижного контакта. Работа в таких условиях выдвигает на первый план задачу минимизации износа и, соответственно, сохранения параметров точности соединения. Для снижения износа используют различные методы. С одной стороны, разрабатываются новые виды смазок, применяют вещества для удержания смазки в зазоре (эпиламы) и т.п., а с другой – разрабатываются новые методы механической обработки и инструменты для их реализации, обеспечивающие повышение эксплуатационных свойств поверхности, в том числе и способность удерживать смазку. В этом случае важное значение приобретают не только высотные параметры микронеровностей поверхности, но и их взаимное расположение.

Формирование параметров шероховатости производится на протяжении всего цикла механической обработки детали, но окончательные значения формируются на операциях финишной обработки.

Наиболее распространенным методом окончательной обработки деталей типа тел вращения до настоящего времени является шлифование. Анализ наиболее распространенных методов обработки тел вращения абразивным инструментом (АИ) показывает, что съем припуска с поверхности может производиться инструментами различных конструкций по различным схемам. Выбор кинематической схемы движений для круглого наружного шлифования изделий цилиндрической формы зависит от принятого технологического процесса обработки и эксплуатационных возможностей АИ. Из производственной практики известно, что наиболее высокие эксплуатационные свойства цилиндрической поверхности обеспечиваются при ее обработке хонингованием (внутренняя) и суперфинишированием (внешняя). Вместе с тем эти способы обладают относительно невысокой производительностью. В этой связи перспективным представляется использование многогранного торцового сборного абразивного инструмента [1], обладающего возможностью формировать на поверхности цилиндрической детали направление неровностей, близких к хонингованию, с производительностью шлифования.

Такой инструмент имеет возможность управления типом направлений неровностей при работе по методу «бегущего контакта» за счет того, что инструмент имеет некруговой контур рабочей поверхности. В общем случае рабочая поверхность инструмента может представлять собой многогранник, имеющий  $n$  сторон. Такой АИ (рис. 1) представляет собой диск 2, на торцевой поверхности которого закреплены  $n$  абразивных элементов 3.

В каждой точке контакта абразивного бруска с обрабатываемой поверхностью вектор скорости резания будет иметь различное направление. Достоинством предложенной конструкции инструмента является то, что, для изменения характера работы и типа направлений неровностей формируемого микрорельефа достаточно изменить  $m$  смещения оси инструмента относительно оси детали.

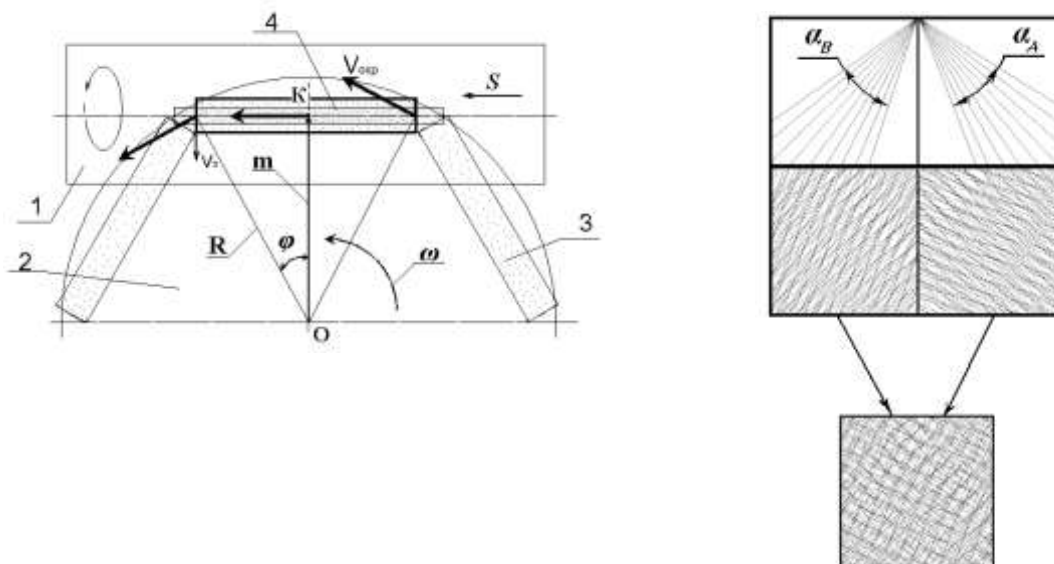


Рис. 1. Формирование траекторий движений абразивных зерен (справа) по обрабатываемой поверхности при круглом шлифовании  $n$ -гранным сборным торцовым АИ:  
 1 – вал; 2 – корпус абразивного инструмента;  
 3 – абразивный элемент; 4 – зона контакта

Из рисунка следует, что при обработке торцовым абразивным инструментом наблюдается благоприятное сочетание траекторий движения абразивных зерен – в разных, пересекающихся между собой направлениях. По аналогии с хонингованием образование на поверхности перекрещивающихся следов обработки способствует удержанию смазки, должно привести к повышению эксплуатационных свойств изделия, в частности к снижению износа.

Подтверждением этого являются графики (рис. 2), характеризующие изменение параметров шероховатости полос электротехнической стали, прокатанной на валках, обработанных по традиционной технологии и торцовым абразивным инструментом. Учитывая, что шероховатость поверхности валков с определенным передаточным коэффициентом отпечатывается на поверхности полосы, можно считать, что изменение шероховатости полосы характеризует изменение шероховатости поверхности бочек рабочих валков.

Анализ графиков показывает, что микрорельефы с наклонным и перекрещивающимся типом направлений неровностей обеспечивают повышенную (в среднем на 20...40%) износостойкость поверхности прокатных валков.

Кроме этого, полосы, прокатанные на валках, обработанных по существующей технологии, имеют поверхность с микропорывами, причем плотность дефектов увеличивается с уменьшением высоты неровностей поверхности бочки валка. Так, плотность дефектов на  $1 \text{ см}^2$  полосы, прокатанной на валках с перпендикулярным типом направлений неровностей бочки и имеющих высоту неровностей  $R_a = 0,58..0,32 \text{ мкм}$ , составила 83 микропорыва. Прокатка на валках, имеющих меньшую шероховатость поверхности бочки:  $R_a = 0,15..0,10 \text{ мкм}$ , привела к увеличению плотности микропорывов до  $253 \text{ см}^{-2}$ .

Для полос, прокатанных на валках с наклонным и перекрещивающимся типом направлений неровностей, таких дефектов на поверхности не обнаружено вовсе. Это указывает на то, что условия пластического течения металла в очаге деформации при прокатке на таких валках более благоприятны.

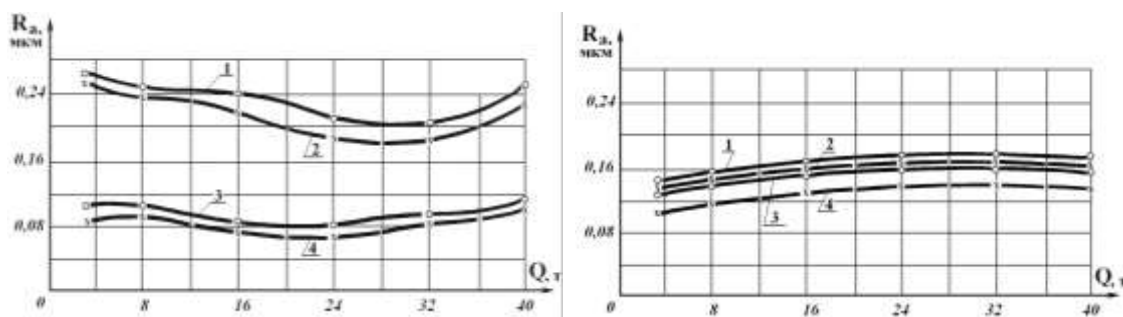


Рис. 2. Изменение шероховатости поверхности полосы в процессе прокатки на валках, обработанных по заводской технологии  $\alpha = 90^\circ$  (слева) и экспериментальной  $\alpha' = 45^\circ$ . Шероховатость: 1, 2 – поперек; 3, 4 – вдоль полосы; 1, 3 – верх; 2, 4 – низ полосы

Таким образом, проведенные исследования показывают, что сборный торцовый АИ имеет широкие возможности по управлению направлением микронеровностей поверхности цилиндрических деталей типа валов. На обработанной поверхности могут быть сформированы различные типы направлений неровностей – перпендикулярный оси вращения детали, наклонный, не имеющий определенного направления. Получение таких направлений неровностей позволяет повысить эксплуатационные показатели изделия.

Дальнейшие исследования будут направлены на развитие компьютерно-ориентированных моделей формирования шероховатости поверхности, обработанной таким абразивным инструментом

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. РФ 2 249 500 МПК<sup>7</sup> В 24D 7/06. Сборный торцошлифовальный круг / Козлов А.М., Ефремов В.В., Пономарев О.Н. Заявка № 2003103827/02 от 10.02.2003. Опубл. 10.04.2005. Бюл. № 10.

**Козлов Александр Михайлович** –

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
Липецкого государственного технического университета

**Козлов Андрей Александрович** –

студент Липецкого государственного технического университета

УДК 621.43-19

**С.П. Косырев, Д.В. Синчурин**

**ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КРИТЕРИЕВ  
КОНСТРУКЦИИ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАНЖЕТ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Эксплуатационная надежность манжет является основным фактором данного изделия, и необходимость недопущения выхода из строя в период эксплуатации стоит на первом месте. В общем случае стоимость замены в механизмах уплотнения на порядок выше, чем стоимость самого изделия, а также расходов при выходе из строя всего механизма.*

**S.P. Kosyrev, D.V. Sinchurin**

**ESTIMATION OF OPERATIONAL CRITERIA OF THE DESIGN CUFFS  
WITH APPLICATION OF THE METHOD OF FINAL ELEMENTS**

*Operational reliability of cuffs is a major factor of the given product and necessity of a non-admission of failure in operation costs on the first place. Generally replacement cost in sealing gears above than cost of the product, and also expenses at failure of all gear.*

Одним из типов динамического уплотнения являются резинOMETаллические манжеты (или уплотнения вращающихся валов).

С целью облегчения условий монтажа манжеты в посадочном месте и придания жесткости конструкции она армируются металлическим каркасом, но отдельные конструкции могут выполняться и без арматуры. Отличительной особенностью манжет является наличие у них одной и более уплотнительной губы с контактной кромкой (рис. 1). Первоначальный контакт осуществляется в результате пружинящего действия манжеты, деформированной (сжатой) при монтаже, обеспечивающий герметизацию при нулевом и малом давлении среды. Контактная плотность этого соединения повышается с увеличением давления среды, которая прижимает уплотнительную губу манжеты к уплотняемым поверхностям. На герметичность манжет существенно влияет радиальное усилие прижатия уплотнительной кромки манжеты к валу.



Рис. 1. Типовая конструкция резинометаллических манжет

Незначительное радиальное усилие приводит к образованию более толстой смазывающей пленки и появлению утечек. Повышенные значения радиального усилия ухудшают условия смазки трущихся поверхностей, ужесточают температурный режим в зоне трения, ускоряют старение и износ эластомерных материалов уплотнения. С увеличением радиального усилия герметичность подвижного соединения повышается, достигая максимума, а затем вновь падает.

В общем случае радиальное усилие определяется тремя составляющими:

- усилием от деформации уплотняющего элемента манжеты (натягом манжеты);
- усилием от действия браслетной пружины;
- усилием от действия давления уплотняемой среды.

Браслетная пружина создает дополнительную радиальную нагрузку, когда уплотнение установлено на вал. Пружина также компенсирует изменения радиальной нагрузки, которые возникают при изменении свойств эластичного элемента вследствие воздействия тепла и масла. Она контролирует окончательный внутренний диаметр уплотняющего элемента путем прижатия рабочей поверхности эластичного элемента вплоть до того момента, когда витки пружинки прижмутся друг к другу.

При развитии расчетных методик по определению напряжений в резинометаллических манжетах можно применить метод конечных элементов (МКЭ), позволяющий решать задачи теории упругости и сопротивления материалов. При этом конкретные рекомендации по эффективному использованию методик на базе МКЭ в технической литературе отсутствуют, нет математического пути решения сходимости по МКЭ, а используемое шаговое увеличение числа конечных элементов (КЭ) приводит к тому, что решение по МКЭ сходится при бесконечном увеличении числа КЭ. Поэтому требуется детальное изучение вопросов применения МКЭ в расчетах напряженного состояния резинометаллических манжет (рис. 2).

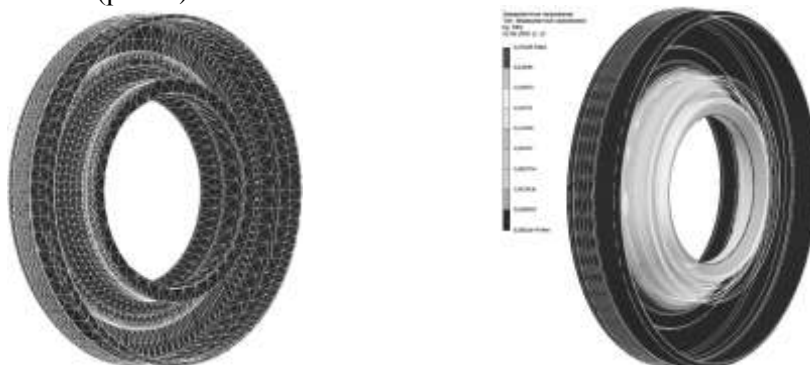


Рис. 2. Компьютерная дискретизация МКЭ и напряженное состояние манжеты

Результаты исследования напряженного состояния элементов резинометаллических манжет в эксплуатационных условиях с применением МКЭ позволяют более верно судить об эксплуатационной надежности конструкции по критерию усталостной прочности

Для решения поставленной задачи был использован графический редактор Autodesk Inventor.

После построения эпюры напряжений представляется оценка эксплуатационной надежности конструкции по критериям «усталостная прочность» и «общая неравномерность распределения напряжений». Указанные критерии позволяют повысить эксплуатационную надежность всех элементов конструкции манжеты, путем модернизации профиля сечения манжеты и характеристик браслетной пружины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. М.: Мир, 1979. 389 с.
2. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер и др.; под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.

**Косырев Сергей Петрович** –

доктор технических наук,  
профессор кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

**Синчури Денис Васильевич** –

аспирант кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.43-19

**С.П. Косырев, И.О. Кудашева, Н.Л. Марьина**

### **ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ГИДРОДРОБЕСТРУЙНОЕ УПРОЧНЕНИЕ НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ФОРСИРОВАННОГО ДИЗЕЛЯ**

*Для разработки малоотходных технологических методов повышения эксплуатационной надежности элементов коленчатых валов автомобильных дизелей поверхностным пластическим деформированием необходимо располагать напряженным состоянием рабочих поверхностей. Доказано, что при гидродробеструйном упрочнении поверхностного слоя начальные технологические остаточные напряжения дифференцированно зависят от рабочих и монтажных напряжений в конструкции. Определены в качестве первоначальных задачи определения технологических параметров и анализа напряженно-деформированного состояния в очаге деформации.*

**S.P. Kosyrev, I.O. Kudasheva, N.L. Mar'ina**

### **DIFFERENTIATED HIDROFRACTIONSTREAM HARDENING OF EXTERNAL SURFACES OF ELEMENTS OF THE CRANKED SHAFT OF THE FORCED DIESEL ENGINE**

*For working out technological methods of increase of operational reliability of elements of cranked shaft of automobile diesel engines superficial plastic deformation is necessary for having an intense condition of working surfaces. It is proved, that at hidrofractionstream blanket hardening initial technological residual pressure differentiated depend on working and assembly pressure in a design. Problems of definition of technological parametres and the analysis of the is intense-deformed condition in the deformation centre are defined as initial.*

Ввиду сложности конфигурации наружных поверхностей элементов (щеки и противовеса) коленчатого вала, неравномерности распределения остаточных и рабочих напряжений по поверхностям теоретически задать и определить уровень начальных технологических напряжений в элементах коленчатого вала не представляется возможным. Аналитически учесть факторы, влияющие на формирование напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев, сложно. Однако разработка основ расчета с приемлемой для практики их использования точностью является одной из актуальных проблем теории и практики поверхностного пластического деформирования (ППД) коленчатых валов. В этой связи разработан новый метод дифференцированного гидродробеструйного упрочнения наружной поверхности элемента коленчатого вала, например щеки, сущность которого состоит в следующем. В щеке в поверхностном слое всех сечений уровень начальных технологических остаточных напряжений сжатия получают дифференцированным гидродробеструйным упрочнением по высоте щеки от верхней точки 1 (рис. 1):

- в зоне протяженностью (0-0,065)  $D_{щ} \sigma_{xx}^{01} = -(1,55-2,10)\sigma_{02}$ ;
- в зоне протяженностью (0,065-0,20)  $D_{щ} \sigma_{xx}^{01} = -(2,10-1,70)\sigma_{02}$ ;
- в зоне протяженностью (0,20-0,70)  $D_{щ} \sigma_{xx}^{01} = -(1,70-1,55)\sigma_{02}$ ;
- в зоне протяженностью (0,70-0,90)  $D_{щ} \sigma_{xx}^{01} = -(0,90-1,80)\sigma_{02}$ ;
- в зоне протяженностью (0,90-1)  $D_{щ} \sigma_{xx}^{01} = -(1,80-1,15)\sigma_{02}$ ;

где  $D_{щ}$  – диаметр наружной поверхности щеки;  $\sigma_{xx}^{01}$  – начальные технологические сжимающие остаточные напряжения;  $\sigma_{02}$  – предел текучести материала коленчатого вала.

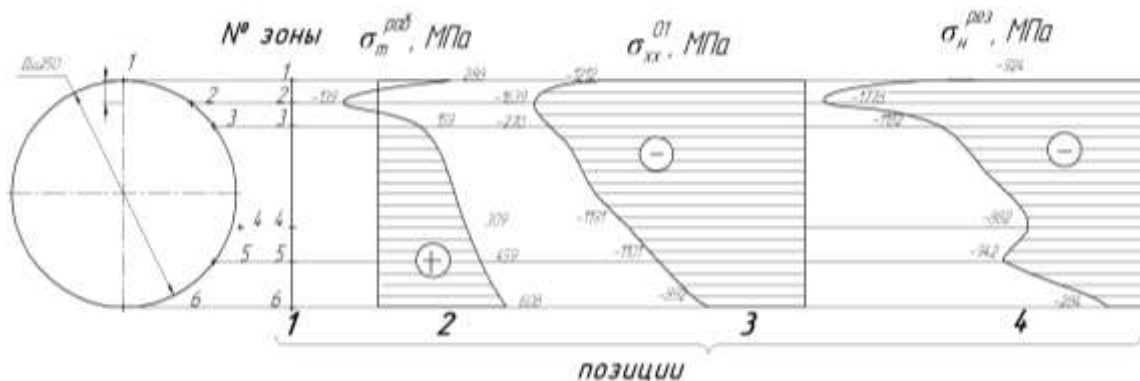


Рис. 1. Распределение характерных зон и эпюры рабочих  $\sigma_m^{раб}$ , начальных технологических остаточных напряжений сжатия  $\sigma_{xx}^{01}$  и результирующих напряжений  $\sigma_n^{рез}$  по ним в наружной поверхности щеки

Сущность изложенного метода поясняется на рис. 1, где представлено:

- а) распределение характерных зон (поз. 1) по поверхности щеки;
- б) эпюры рабочих напряжений цикла  $\sigma_m^{раб}$  (поз. 2);
- в) распределение уточняющих начальных технологических остаточных напряжений сжатия  $\sigma_{xx}^{01}$  (поз. 3);
- г) эпюры результирующих суммарных напряжений в поверхностном слое щеки  $\sigma_n^{рез}$  (поз. 4).

Применительно к противовесу коленчатого вала идея метода дифференцированного гидродробеструйного упрочнения состоит в следующем. В поверхностном слое противовеса уровень начальных технологических остаточных напряжений сжатия получают дифференцированным гидродробеструйным упрочнением по высоте противовеса от верхней точки 1 (рис. 2):

- в зоне протяженностью (0-0,215)  $D_{щ} \sigma_{xx}^{01} = -(1,195-1,595)\sigma_{02}$ ;
- в зоне протяженностью (0,215-0,40)  $D_{щ} \sigma_{xx}^{01} = -(1,595-1,940)\sigma_{02}$ ;
- в зоне протяженностью (0,40-0,65)  $D_{щ} \sigma_{xx}^{01} = -(1,940-0,80)\sigma_{02}$ ;

– в зоне протяженностью  $(0,65-0,785) D_{ш}$   $\sigma_{xx}^{01} = -(0,80-0,725)\sigma_{02}$ .

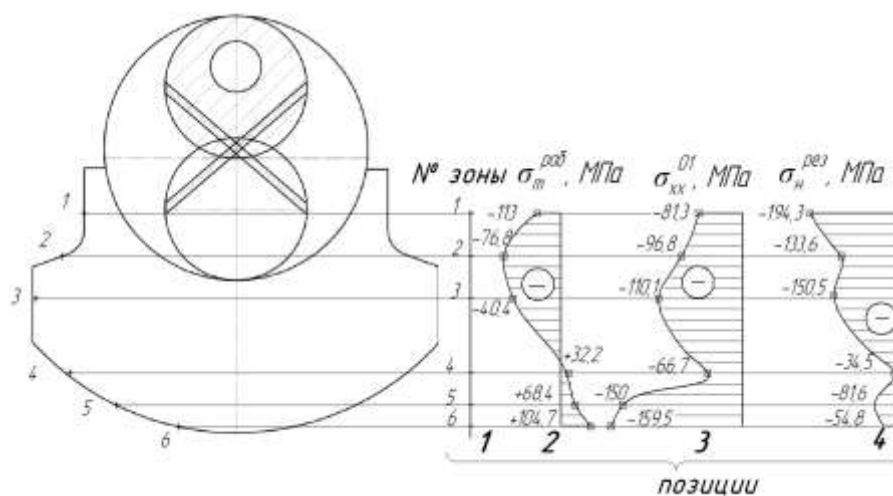


Рис. 2. Распределение характерных зон и эпюры рабочих  $\sigma_m^{pab}$ , начальных технологических остаточных напряжений сжатия  $\sigma_{xx}^{01}$  и результирующих напряжений  $\sigma_n^{pez}$  по ним в наружной поверхности противовеса

На рис. 2 представлена суть изложенного метода:

- а) распределение характерных зон (поз. 1) по поверхности противовеса;
- б) эпюры рабочих напряжений цикла  $\sigma_m^{pab}$  (поз. 2);
- в) распределение уточняющих начальных технологических остаточных напряжений сжатия  $\sigma_{xx}^{01}$  (поз. 3);
- г) эпюры результирующих суммарных напряжений в поверхностном слое противовеса  $\sigma_n^{pez}$  (поз. 4).

Повышение верхнего предела  $\sigma_{xx}^{01}$  во всех зонах элементов коленчатого вала приводит к нарушению условия адекватности напряжений разгрузки  $\sigma_{xx}^{01}$  напряжениям нагрузки  $\sigma_m^{pab}$  и не обеспечивает выравнивание напряженности смежных объемов металла и, следовательно, их равнопрочность. При уменьшении нижнего предела  $\sigma_{xx}^{01}$  значительно падает эффективность упрочняющего влияния параметра начальных технологических остаточных напряжений сжатия как самостоятельного фактора, а также нарушается условие обеспечения адекватности распределения  $\sigma_{xx}^{01}$  распределению  $\sigma_m^{pab}$ .

**Косырев Сергей Петрович** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета

**Кудашева Ирина Олеговна** –

кандидат технических наук, ассистент кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета

**Марьина Надежда Леонидовна** –

аспирант кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета

**А.В. Кочедаев, А.В. Пластинкин**

**ПРОЦЕДУРА ВЫБОРА СХЕМ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ  
В СИСТЕМЕ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

*Приведена процедура формирования и выбора рациональных схем обработки элементарных поверхностей деталей в системе планирования многономенклатурных технологических процессов*

**A.V. Kochedaev, A.V. Plastinkin**

**THE PROCEDURE OF A SCHEMES CHOICE OF PROCESSING SURFACES  
DETAILS IN THE SYSTEM OF PLANNING MULTINOMENCLATURE  
TECHNOLOGICAL PROCESSES**

*The article described of the procedure formation and a choice of rational schemes processing elementary surfaces details in the system of planning multinomenclature technological processes*

В последнее время широкое распространение получают системы автоматизированного проектирования и автоматизированные системы технологической подготовки производства. Немаловажную роль в этих системах занимает этап проектирования обработки элементарных поверхностей детали. Он может выполняться как в автоматическом режиме, так и при участии человека. В связи с этим является актуальной задача рассмотрения и улучшения подходов и алгоритмов проектирования закладываемых в данные системы. В статье рассмотрена процедура формирования и выбора схем обработки элементарных поверхностей деталей, а также представлены практические результаты, полученные при использовании этой процедуры.

Формирование вариантов схем обработки элементарных поверхностей выполняется по следующему алгоритму [1]:

*Шаг 1.* Определяются заданные характеристики поверхности и представляются в виде вектора качества  $\bar{X} = (\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_S)$ .

*Шаг 2.* Подбирается вариант технологического перехода, область выходных параметров которого включает вектор качества поверхности готовой детали. Подбор проводится на базе матрицы  $\Omega(k)$ . Вариант принимается к дальнейшему рассмотрению при выполнении условия  $(\Omega_i(k) < \xi_i, i \in S)$ , хотя бы для одного  $i$ .

*Шаг 3.* В соответствии с выбранным вариантом технологического перехода определяется область входных предельных его параметров  $\Delta_n(k)$ .

*Шаг 4.* Выполняется сравнение  $\Delta_n(k)$  с характеристиками поверхности заготовки  $\bar{X}_{заг} = (\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_S)$ , если:

- а/ для всех  $i \Delta_{ni}(k) \geq \xi_i, i \in S$ , то последовательность обработки данной элементарной поверхности сформирована;
- б/ условие  $(\Delta_{ni}(k) \geq \xi_i, i \in S)$  не выполняется хотя бы для одной характеристики, то выбирается следующий технологический переход, удовлетворяющий условию  $\Delta_{ni}(k) \leq \Omega_i(k-1)$ .

*Шаг 5.* По укрупненным формулам определяются параметры варьирования суммарного припуска на поверхность по всем технологическим переходам. Если:

- а) размеры заготовки входят в границы варьирования, то сохраняется сформированная последовательность обработки поверхности;
- б) разница между размерами поверхности заготовки и детали меньше минимального значения суммарного припуска, то сформированный вариант последовательности обработки



- считается невыполнимым и к дальнейшему рассмотрению не принимается;
- в) разница между размерами поверхности заготовки и детали больше максимального значения суммарного припуска, то к последовательности технологических переходов добавляется технологический переход, выбранный по данному алгоритму последним. Окончательно схема обработки элементарной поверхности считается сформированной, когда суммарный максимальный припуск окажется меньшим или равным разнице между размерами поверхности заготовки и детали.

В случае если на предпроектной стадии не определены размерные параметры заготовки и предыдущие процедуры выполнялись с использованием характеристик поверхностного слоя, соответствующих выбранному методу получения заготовки, схема обработки остается такой, которая была сформирована на 4 шаге данного алгоритма. Дополнительно проводятся вычисления размеров заготовки.

Алгоритм носит итерационный характер, последовательно синтезируя варианты маршрутов обработки всех поверхностей детали, двигаясь от характеристик поверхностей готовой детали к заготовке. Его преимущество заключается в формировании всех возможных вариантов схем обработки и универсальности в отношении как к виду элементарной обрабатываемой поверхности, так и типу технологического перехода (рисунок).

Для формирования схем обработки деталь разбивается на элементарные поверхности. Для каждой элементарной поверхности все возможные последовательности технологических переходов формируются с помощью рекурсивной процедуры поиска в базе данных по оборудованию.

Вариант ТП предусматривается в виде последовательного перемещения вектора состояния качества поверхностного слоя в S-мерном пространстве (S – количество характеристик качества поверхности, заданных в качестве технических требований к поверхности):

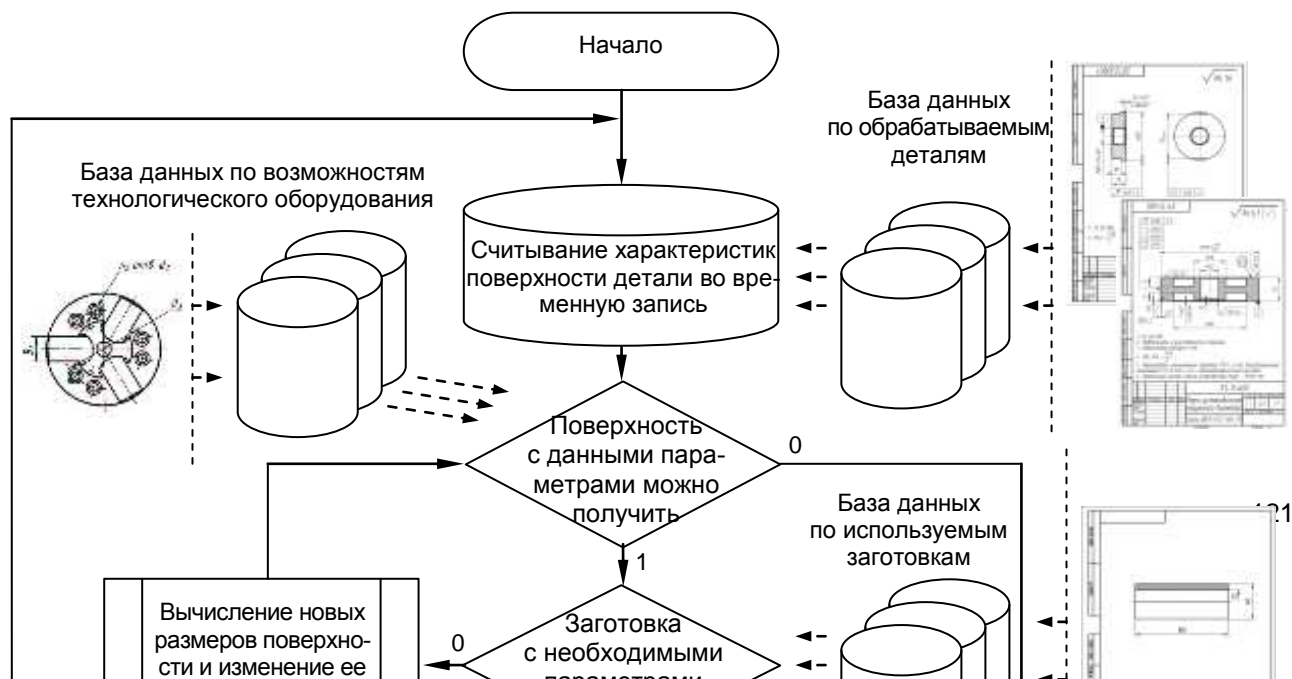
Практически в качестве упрощенного варианта можно вести отсев вариантов с наибольшим числом использованных технологических переходов. Как правило, это и есть варианты с наибольшей траекторией перемещения вектора  $\bar{X}$ .

На данном этапе системы планирования ТП закладываются положения, которые определяют соответствие создаваемых с ее использованием ТП свойству, характеризующему однородность структуры ТП при изготовлении изделий с различными конструктивными признаками и характеристиками. Наличие этого свойства обеспечивает возможность построения ТП, отвечающих требованиям высокой взаимозаменяемости различных составных частей и элементов ТП, свойству инвариантности структуры. В соответствии с этим свойством предлагаются количественные критерии для анализа вариантов схем обработки элементарных поверхностей.

На уровне адаптации предлагается в качестве критерия использовать показатель однородности ТП по применяемым методам изготовления изделий:

$$K_m = M_i / \sum_{j=1}^H T_{ij}, \quad (1)$$

где  $M_i$  – число различных методов, используемых в ТП при изготовлении  $i$ -го изделия;  $T_{ij}$  – число технологических переходов, используемых при изготовлении  $i$ -го изделия.



#### Алгоритм формирования схем обработки поверхностей детали

Из сформированных вариантов схем обработки элементарных поверхностей на основе критерия интенсивности достижения требуемых показателей качества выбираются наиболее оптимальные и поступают на этап отбора вариантов по применяемым методам изготовления изделий.

Окончательный вариант выбирается с использованием показателя однотипности технологических переходов:

$$K_{mn} = P_{pi} / \sum_{j=1}^H P_{ij}, \quad (2)$$

где  $P_{ij}$  – число технологических переходов, используемых при изготовлении  $i$ -го изделия;  $P_p$  – общее число разнородных технологических переходов ТП.

Естественно, что наряду с представленными выше показателями во внимание принимаются и временные характеристики реализации технологических переходов и, следовательно, технологического процесса. В результате выполнения представленных процедур для каждой элементарной поверхности формируются наиболее рациональные для сложившихся производственных условий планы обработки, представленные упорядоченными последовательностями технологических переходов.

На первом этапе эксперимента в базу данных по изделиям вносятся данные по номенклатуре деталей, производимых в выбранном цеху.

На втором этапе в базу данных по заготовкам вносятся данные по номенклатуре применяемых заготовок.

На третьем этапе в базу данных по возможностям технологического оборудования заносится информация об оборудовании, установленном в цехе, и его технологических характеристиках.

На четвертом этапе происходит генерация схем обработки элементарных поверхностей для выбранной номенклатуры деталей на основе методики и алгоритмов, представленных в работе, и информации, занесенной в базу данных по производственному участку.

На пятом этапе из сгенерированных вариантов последовательностей технологических переходов для обработки элементарных поверхностей деталей на основе предложенных в работе критериев и алгоритмов отбираются наиболее оптимальные для реализации в выбранном производственном цеху.

На последнем этапе эксперимента происходит анализ полученных результатов с точки зрения временных затрат на разработку схем обработки и качества полученных решений по сравнению с существующими технологическими процессами на изготовление выбранной номенклатуры деталей.

В результате проведения эксперимента были сгенерированы последовательности технологических переходов обработки поверхностей деталей из выбранной группы деталей, производимой на инструментальном производстве ОАО «Саратовский подшипниковый завод». Затем в соответствии с разработанными методиками и алгоритмами был произведен выбор рациональных вариантов по предложенным критериям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкарев П.Ю. Планирование технологических процессов в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем. Теоретические основы разработки подсистем планирования маршрутов технологических процессов: учеб. пособие / П.Ю. Бочкарев, А.Н. Васин. Саратов: СГТУ, 2004. 136 с.

2. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность в машиностроении / П.И. Ящерицын, Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков. Минск: Наука и техника, 1977. 255 с.

**Кочадаев Алексей Викторович** –

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов»

Саратовского государственного технического университета

**Пластинкин Алексей Вениаминович** –

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов»

Саратовского государственного технического университета

УДК 621.923

**В.Д. Кревчик, В.О. Соколов, Д.В. Васин**

#### УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ФЕРРИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

*Теоретически исследован один из возможных механизмов уменьшения хрупкости поверхностного слоя Mn-Zn ферритовых материалов, связанный с процессом диффузионного расплывания зон Коттрелла в условиях ультразвукового воздействия. Установлено, что диффузия примесной атмосферы может сопровождаться частичным или полным откреплением дислокаций в результате чего уменьшается величина локального модуля Юнга и, как следствие, хрупкость поверхностного слоя феррита.*

**V.D. Krevchik, V.O. Sokolov, D.V. Vasin**

#### QUALITY MANAGEMENT OF A SUPERFICIAL LAYER OF FERRITE PRODUCTS AT GRINDING

*One of possible mechanisms of reduction of fragility of blanket Mn-Zn of the ferrite materials, connected with process diffuse spreading Cottrell's zones in the conditions of ultrasound influence is theoretically investigated. It is established, that diffusion impurity atmospheres can be accompanied by partial or full striking off of dispositions therefore the size of the local the Young's module and, as consequence, fragility of a blanket of ferrite decreases.*

Современные магнитомягкие ферриты с высокой магнитной проницаемостью, относятся к твёрдым, пористым, структурно-чувствительным композиционным материалам. Специфика выполнения операций плоского алмазного шлифования ферритовых деталей определяется тем, что данные материалы имеют склонность к образованию сколов, трещин и других дефектов. В целях уменьшения вероятности их образования в процессе шлифования в данной работе предлагается технологическое решение, основанное на предварительной ультразвуковой обработке поверхностного слоя.

Основу концепции акустостимулированного (АС) изменения дефектной структуры поверхностного слоя феррита составляет модель образования тепловых волн (Т-волн). Согласно ей, распространение ультразвуковых волн (УЗВ) в феррите сопровождается периодическим изменением частот всего ансамбля тепловых фононных мод в поверхностном слое с частотой УЗВ  $\omega_s$ . В результате энергетическое распределение тепловых фононов (ТФ) становится неравновесным и ансамбль ТФ, являясь диссипативной системой, посредством столкновений формирует периодические всплески энергии в поверхностном слое феррита. Этот процесс может служить причиной диффузионного расплывания примесной атмосферы в поле УЗВ.

С целью изменения физико-механических свойств поверхности изделия перед шлифованием на неё наносится тонкий слой мелкодисперсного композиционного вещества (МКВ) толщиной  $h$ , после чего она подвергается воздействию ультразвуковых волн.

Предполагая, что в поле Т-волн в соответствии с обычным законом тепловой активации происходит диффузия, увеличение числа атомных перескоков  $\Delta v$ , которое может быть совершено в примесной атмосфере за период  $T_s$  УЗВ определяется как

$$\Delta v = \int_0^{T_s} [v(T') - v(T_0)] dt,$$

где  $v$  – скорость атомных перескоков;  $T = T_0 + T$ ;  $T_0$ ,  $T$  – соответственно температура поверхностного слоя феррита в отсутствие УЗВ и под воздействием УЗВ.

Учитывая, что скорость атомных перескоков равна

$$v = v_0 \cdot e^{-E_a/(kT)},$$

окончательно можно записать

$$\Delta v \approx \frac{\pi v_0}{\omega_s} e^{-X_a} \cdot [e^{X_a/\alpha} + e^{X_a/(1-\alpha)} - 2],$$

где  $v_0$  – частотный фактор;  $X_a = E_a/(kT_0)$ ;  $E_a$  – энергия активации диффузии.

Коэффициент диффузии при этом определяется темпом диссипации энергии  $\langle \partial W / \partial t \rangle / W$ , а также числом добавочных перескоков  $\Delta v$  [1]:

$$D_s^{ac} = \Delta v \cdot \frac{1}{W} \left\langle \frac{\partial W}{\partial t} \right\rangle d^2,$$

где  $d$  – расстояние между узлами кристаллической решётки.

Учитывая, что темп диссипации энергии пропорционален квадрату частоты звука  $\omega_s$ , квадрату параметра ангармоничности  $\gamma$  и температуре  $T_0$ , получим формулу для расчёта коэффициента диффузии:

$$D_s^{ac} = D_0 \cdot \frac{\omega_s}{v_0} \cdot e^{-X_a} \cdot [e^{X_a/\alpha} + e^{X_a/(1-\alpha)} - 2],$$

где  $D_0$  – коэффициент диффузии при отсутствии ультразвукового воздействия, который определяется по формуле

$$D_0 = \pi v_0^2 \cdot \frac{\gamma^2 \lambda \cdot T_0 \cdot d^2}{\rho v_s^4}.$$

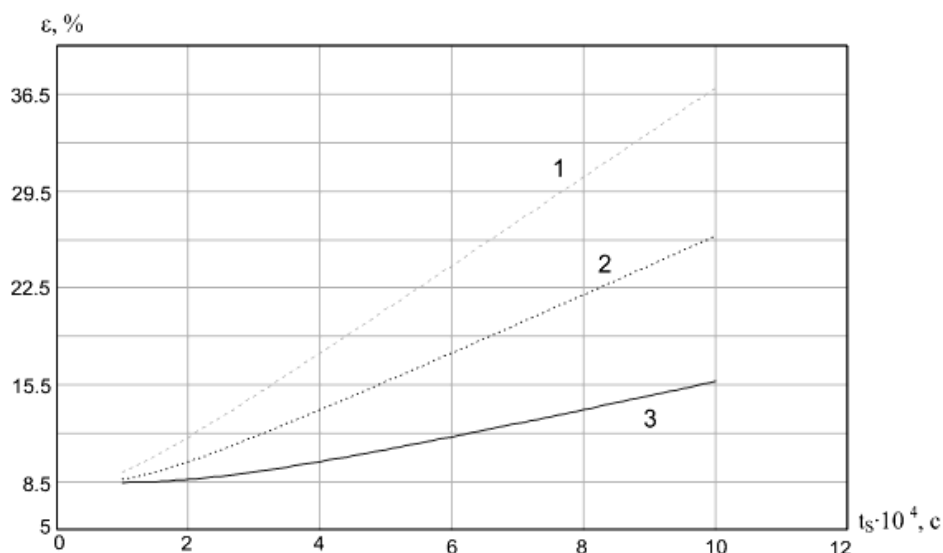
Относительное изменение локальной величины модуля Юнга при ультразвуковом воздействии определяется как

$$\varepsilon = \frac{E_0 - E}{E_0} = \frac{12(1-\mu)}{\pi^2} N_d \frac{L_{C0}^2}{\left[ \operatorname{erf} \left( \frac{r_0}{\sqrt{D_s^{ac} t_s}} \right) \right]^2},$$

где  $E_0$  – величина модуля Юнга в отсутствии УЗВ;  $E$  – динамический модуль Юнга;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $N_d$  – плотность дислокаций;  $L_{CO}$  – длина дислокационного сегмента в отсутствии УЗВ;  $r_0$  – радиус дислокационной трубки;  $\text{erf}(z)$  – интеграл вероятностей;  $t_s$  – время ультразвукового воздействия.

На рисунке представлена зависимость дефекта модуля Юнга  $\varepsilon$  от времени ультразвукового воздействия  $t_s$ . Сравнение кривых 1, 2 и 3 показывает, что определяющим вкладом в зависимость  $\varepsilon(t_s)$  является вклад темпа диссипации энергии УЗВ. Сублинейная зависимость  $\varepsilon(t_s)$  в области  $t_s \ll 2 \cdot 10^4$  с обусловлена пределом  $\varepsilon(t_s) \rightarrow \varepsilon_0$ , где  $\varepsilon_0$  – дефект модуля Юнга поверхностного слоя феррита в отсутствие УЗВ.

Таким образом, с течением времени ультразвукового воздействия  $t_s$  локальное значение модуля Юнга в поверхностном слое феррита уменьшается.



Зависимость дефекта модуля Юнга  $\varepsilon$  от времени ультразвукового воздействия  $t_s$  для разных значений  $\omega_s/\nu_0$ :  
 1 – 3; 2 – 2; 3 – 1 при  $X_a = 100$ ,  $N_d \cdot L_{CO}^2 = 10^{-1}$ ,  $\alpha = 1,2$ ;  $r_0 = 0,1$  мкм,  $\nu = 0,3$ ;  $D_0 = 1,6 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с

Известно [2], что силы и температура резания определяются физико-механическими характеристиками обрабатываемого материала и, в первую очередь, его прочностью.

Предел прочности обрабатываемого материала на сжатие  $\sigma_{сж}$  можно рассматривать как напряжение, необходимое для работы источника Франка-Рида, т.е. для размножения дислокаций:

$$\sigma_{сж} \approx \frac{E \cdot b \cdot \sqrt{N_d}}{2(1 + \nu)},$$

где  $b$  – величина вектора Бюргера дислокации.

Ультразвуковое воздействие сопровождается уменьшением локального значения модуля Юнга за счёт диффузионного расплывания зон Коттрелла в условиях релаксации фононных возбуждений в поверхностном слое феррита. В результате этого уменьшается величина  $\sigma_{сж}$  и соответственно снижаются силы и температура резания. Кроме того, открепление дислокаций в процессе ультразвукового воздействия приводит к уменьшению хрупкости поверхностного слоя феррита и снижает вероятность образования сколов, трещин и других дефектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кревчик В.Д. Теория акустостимулированных кинетических эффектов в полупроводниках / В.Д. Кревчик, Р.А. Муминов, И.У. Шадыбеков // Узбекский физический журнал. 1991. № 4. С. 24-28.
2. Новиков Г.В. Управление температурой резания при глубинном алмазном шлифовании / Г.В. Новиков // Высокие технологии в машиностроении. 2001. № 1(4). С. 10-16.

**Кревчик Владимир Дмитриевич** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика» Пензенского государственного университета

**Соколов Владимир Олегович** –  
доктор технических наук, профессор, декан факультета «Автоматизация машиностроения»  
Пензенского государственного университета

**Васин Дмитрий Вячеславович** –  
аспирант кафедры «Технология машиностроения»  
Пензенского государственного университета

УДК 621.791.94.035

**Б.М. Кузьмиченко, А.В. Сиягин**

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ В МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

*Рассматривается оборудование для плазменной резки и особенности эксплуатации в серийном производстве. Приведен пример расчета эффективности применения мобильной установки раскроя плазмой.*

**В.М. Kuzmichenko, A.V. Sinyagin**

### **EFFICIENCY OF THE USE OF EQUIPMENT OF THE PLASMA CUTTING IS IN A MULTITOP-LEVEL PRODUCTION**

*An equipment is examined for the plasma cutting and feature of exploitation in a mass production. The example of calculation of efficiency of application of the mobile setting of cutting out plasma is resulted.*

Проблема резки листового металла с минимальными затратами, особенно фигурной резки, уменьшающей объем последующей обработки, стоит перед всеми машиностроительными предприятиями.

Рынок, как отечественный (ООО «Автогенмаш») так и зарубежный (MICROSTER GROUP), предлагает оборудование обычно с использованием портального манипулятора, перемещающего плазменную горелку по X, Y и Z координатам, который устанавливается на раскройный стол, имеющий габариты для загрузки стандартных листов металла (от 1,5~6 м). Стоимость такого оборудования колеблется от 1,5-3 млн руб. и эффективность достигается для объемов переработки металла не менее 100 тонн в год [1-3].

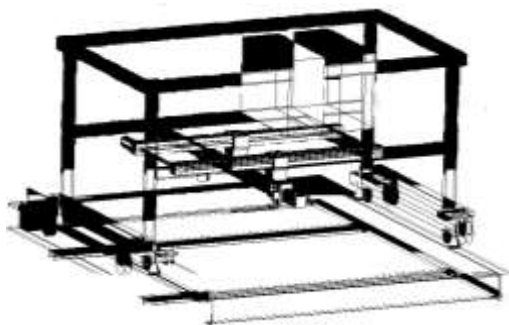


Рис. 1. Модуль плазменного раскроя листового материала

В условиях мелкосерийного многономенклатурного производства с небольшими размерами заготовок такое оборудование неприемлемо из-за высокой стоимости манипулятора (точные направляющие и привод на длину листа) и значительных удельных потерь времени при перезагрузке листов, что обусловлено частой сменой номенклатуры, и небольшого времени резки заготовок.

Предлагаемый проект предусматривает модульный манипулятор с рабочим полем до 1 м<sup>2</sup> устанавливается непосредственно на раскраиваемый лист с возможностью перемещаться оператором по листу или раскройному столу после резки в пределах рабочего поля, где точность позиционирования  $\pm 0,1$  мм. Малые габариты и вес позволяют сравнительно легко переставлять манипу-

лятор с листа на лист.

Эффективность использования плазменного оборудования характеризуется коэффициентом технического использования – отношением времени на раскрой (время непосредственной работы модуля) к времени, затраченному на переналадку (перестановка на другой лист, смена программы и т.д.):

$$\eta_{max} = \Theta_{раб} / (\Theta_{раб} + \Theta_{пер}) = \left( \sum_{i=1}^N T_{ци} \cdot N_i \right) / \left( \sum_{i=1}^N (T_{ци} \cdot N_i + t_{ni}) \right), \quad (1)$$

где  $\eta$  – коэффициент технического использования;  $T_{ци}$  – время вырезки  $i$ -й заготовки;  $N_i$  – количество в партии  $i$ -заготовок;  $t_{ni}$  – время переналадки.

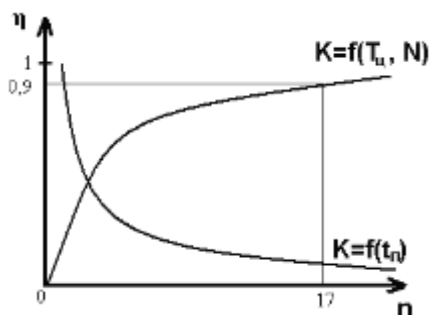


Рис. 2. График зависимости коэффициента технического использования от составляющих

Из графика на рис. 2 видно, что повышение технического использования происходит при сокращении времени переналадок и увеличении партии заготовок или времени цикла резки. Очевидно, что время резки определяется габаритами заготовки и технологическими параметрами резки. Поэтому добиться увеличения можно только уменьшением времени переналадки или увеличением партии заготовок. Наличие противоречий между указанными параметрами предлагается разрешить ограничением – введением допустимого уровня технического использования  $\eta \geq 0,9$ . Зная требуемую производительность, время переналадки и нормируя коэффициент технического использования  $\eta$ , по выражению (1) можно определить требуемую величину партии заготовок.

Время переналадки для экспериментального модуля (перемещение установки с листа на лист и фиксация установки)

составляет около 3 минут, что гораздо меньше цикла выгрузки-загрузки листов на стационарных машинах резания, где  $\eta_{max} \geq 0,9$  достигается только при гораздо большем количестве заготовок в партии. Приняв стальной круг диаметром 100 мм и толщиной 5 мм стандартной заготовкой, при максимальной скорости резания 20 мм/с, нетрудно рассчитать, что необходимое значение коэффициента технического использования модуля достигается при вырезке партии в 17 деталей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Эсибян Э.М. Воздушно-плазменная резка: состояние и перспективы / Э.М. Эсибян // Автоматическая сварка. 2000. № 12. С. 6-16, 20.
2. Смирнов В.В. Работы института сварки России в области плазменного оборудования и технологий (Обзор) / В.В. Смирнов, М.Д. Роговой, В.И. Повстан // Автоматическая сварка. 2000. № 12. С. 17-20.
3. Литвин Р.Г. Современные установки воздушно-плазменной резки малой мощности / Р.Г. Литвин // Автоматическая сварка. 2000. № 12. С. 86-88.

**Кузьмиченко Борис Михайлович** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Системы искусственного интеллекта» Саратовского государственного технического университета

**Синягин Анатолий Владимирович** –

магистрант кафедры «Техническая кибернетика и информатика» Саратовского государственного технического университета

**В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов, Р.А. Константинов**

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ШАРОВ ПОДШИПНИКОВ 180302**

*Приведены исследования рационального формирования физико-механических свойств поверхностного деталей подшипников качения и скольжения, а также предложен новый способ доводки шаров подшипников, позволяющий повысить их качество.*

**V.G. Kuranov, A.N. Vinogradov, R.A. Konstantinov**

### **IMPROVEMENT OF QUALITY OF BEARINGS SPHERES 180302**

*Researches of rational formation of physic mechanical properties superficial details of bearings and sliding and also the new way of operational development of the bearings spheres, allowing to increase their quality is offered.*

В автомобильных генераторах применяются подшипники типа 180302 с диаметром шаров 5/16".

Шары подвергают обработке согласно технологическому процессу изготовления, обработка осуществляется на станках мод. ВШ-314 с элеваторной доводкой. При исследовании партий шаров на виброактивность были получены неудовлетворительные результаты. Уровень вибрации подшипников, выполненных ОАО СПЗ, соответствует 72...79 дБ, в то время как требуемый общий уровень вибрации (ОУВ) не должен превышать 68 дБ. Для повышения качества шаров подшипников применяются различные методы, в том числе изменение кинематики станков для окончательной доводки.

Наиболее сложным при изготовлении подшипников качения является технологический процесс изготовления шаров. Эксплуатационные свойства подшипников зависят, прежде всего, от состояния их рабочих поверхностей, которое, в свою очередь, определяется точностью изготовления, шероховатостью и микроструктурой.

Обработка шариков между чугунами дисками является наиболее универсальной операцией шарикового производства. Этот метод можно применить после опилования вместо мягкого шлифования, после закалки вместо твердого шлифования, для твердой и чистовой элеваторной доводки и для окончательной безэлеваторной доводки шариков [1].

Операции доводки являются финишными и отличаются от операции обкатки тем, что обработка ведется с добавлением абразивной суспензии. Операции предварительной и окончательной доводки различаются между собой характеристикой доводочного оборудования, режимами обработки, процентным содержанием абразива в суспензии, а также результатами – точностью и шероховатостью поверхности обрабатываемых шаров, но по принципу обработки они сходны.

Мягкое и твердое шлифование шариков производят методом обкатки по криволинейным траекториям между чугуном и шлифовальным кругом, вращающимся со скоростью от 3 до 7 м/с. При достаточно большом числе пробогов шарика между кругом и диском сеть траекторий профилирующих контактов равномерно покрывает его поверхность и сферическая форма шарика будет обеспечена с достаточной точностью.

Существует станок для шлифования шариков [2], отличающийся тем, что над поверхностью вращающегося шлифовального круга кольцевой формы расположено множество удерживающих чаш, приводимых во вращение посредством вертикальных валов, снабженных сквозным центральным отверстием, предназначенным для загрузки шариков, причем внутренняя поверхность удерживающих чаш покрыта износостойким материалом, а для регулирования зазора между шлифовальным кругом и удерживающими чашами производится вертикальное перемещение шлифовального круга или удерживающих чаш.

Основными недостатками рассмотренного станка для шлифования шариков являются: сложность конструкции, в частности механизм самоустановки шлифовального круга, кинематика станка, обеспечивающая недостаточно высокое качество обработки, за счет того, что станок не позволяет осуществлять доводку.



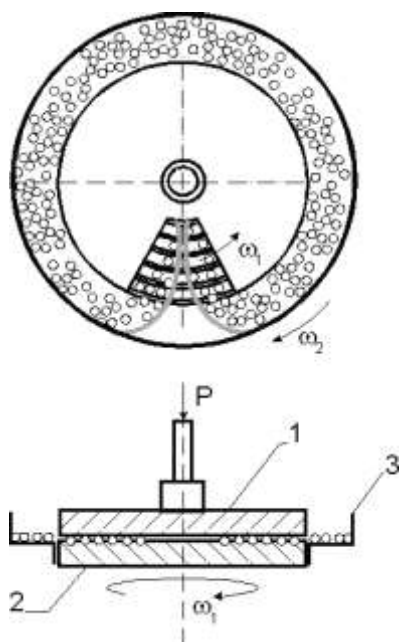


Рис. 1. Схема элеваторной доводки шаров:

- 1 – верхний неподвижный диск;
- 2 – нижний вращающийся диск;
- 3 – автомат питания (элеватор);
- $\omega_1$  – угловая скорость нижнего подвижного диска 2;  $\omega_2$  – угловая скорость элеватора 3;  $P$  – нагрузка

Наиболее распространенной операцией элеваторной и безэлеваторной доводки с чугунными дисками является обработка закаленных шаров. Для элеваторной доводки применяют шародоводочные станки мод. ВШ-314, ШД, 2SM-72, МШ-33, МШ-32 и др. Недостатком данного технического решения является образование на поверхности шаров дефектного слоя за счет диффузии углерода из обрабатывающих дисков, что негативно влияет на эксплуатационные характеристики подшипников.

Для безэлеваторной доводки применяют шародоводочные станки мод. ДЧШ, ШД-100, Кугель – Фишер и др. При безэлеваторной доводке шары катятся по дорожкам нижнего диска без их перемешивания, причем количество шаров ограничено их размещаемостью на дорожках нижнего диска. Для этого способа характерна значительная разноразмерность готовых шаров (свой размер на каждой дорожке диска). Элеваторная доводка шаров ведется между двумя чугунными дисками 1 и 2, обладающими высокой износостойкостью (рис. 1) [3]. Верхний неподвижный диск 1 имеет вырез для подачи шаров в рабочую зону, а нижний подвижный диск 2 имеет желоба-канавки V-образного профиля. Качение шаров в междисковом пространстве по дорожкам нижнего диска одновременно сопровождается их верчением. Недостатком станка является низкая производительность, вследствие значительного времени обработки, а недостатком шаров, изготавливаемых на данном станке, является низкое качество и явление трибоцементации.

В ходе исследований [4-6] выявлено, что на доводочных операциях шаров подшипников качения под действием интенсивной пластической деформации в закаленном состоянии и возникающих при этом градиентов температуры и пластической деформации в поверхностном слое имеет место существенное изменение структуры и физических свойств поверхностного слоя шаров.

На поверхности образуется слабо травящаяся аморфизированная зона с более высокой твердостью и явно выраженными сдвиговыми процессами в направлении пластической деформации, вызванными интенсивными пластическими деформациями в поверхностном слое, сопровождающимися образованием поверхности с супермикрорельефом и возникновением структуры типа «белая полоса». Эта зона, распространяющаяся на глубину до 0,015 мм (см. рис. 2 а, б), отличается более высокой твердостью, чем основной материал (размер отпечатка на белой полосе значительно меньше, чем в глубине).

Как видно из рис. 2 б, микротвердость приповерхностного слоя шара отечественного производства снижается (пик на глубине 0,025-0,03 мм – «зона провала») с  $\approx 8700$  до  $\approx 6800$  МПа. Возникновение «зоны провала» твердости связано с обеднением ее углеродом, который диффундирует в более нагретую и деформированную зону. Такой вывод подтверждается другими авторами, отмечающими высокую подвижность углерода в сплавах железа [10].

Явление, названное трибоцементацией, возникает при финишной обработке шаров подшипников за счет диффузии углерода в их поверхностный слой и сопровождается возникновением хрупкой переупрочненной псевдоструктуры с повышенной микротвердостью, что приводит к снижению физико-механических свойств поверхностного слоя.

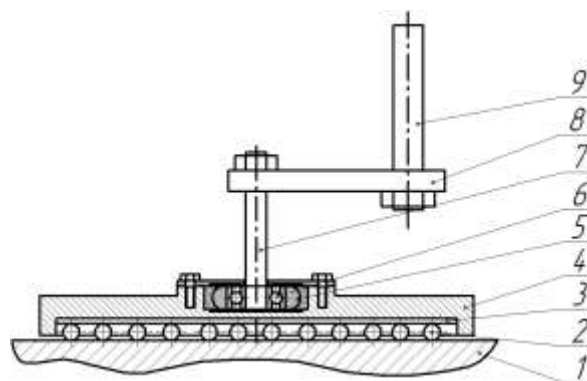
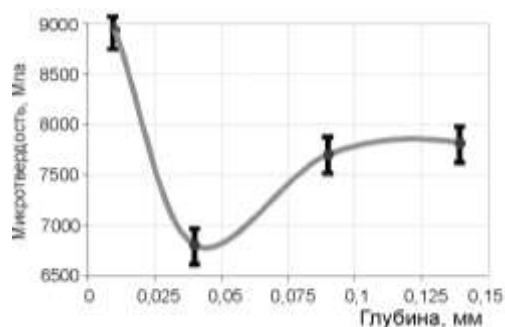


Рис. 3. Станок для доводки шаров



а



б

Рис. 2. а – микрофотография шлифа поверхностного слоя шара подшипника 180302 с отпечатками алмазного индентора, после всех технологических циклов обработки ( $\times 300$ ); б – изменение микротвердости по глубине шара

Предложенные технологии базируются на использовании существующего оборудования и инструмента. Для дальнейшего улучшения процесса доводки шаров необходимо оборудование, использующее другую кинематику.

Авторами предложена конструкция станка для доводки шаров (рис. 4), в котором имеются обрабатывающий диск 1, удерживающая чаша 3, на внутренней поверхности которой нанесен фрикционный слой (тефлон) 4. Обрабатываемые шары 2 располагаются между чашей 3 и обрабатывающим диском 1. Шарнирный подшипник (скольжения) 5, подшипник качения (шариковый) 6 установлены на оси 7, которая рычагом 8 с изменяемым периодически или по программе плечом связана с вертикальным валом 9.

Исключение образования дефектного слоя за счет термомодеформационных процессов достигается использованием материалов диска, не содержащих или малосодержащих углерод, например материала Ст. 35, АЛ-2.

В настоящее время данная разработка патентуется.

На основе открытого явления трибоцементации, которое является негативным при шароодводке, разработан и запатентован способ окончательной доводки шаров подшипников [3], контролирующей параметры точности шаров и структурные изменения в их поверхностном слое. Предложены новые материалы для инструмента, малосодержащие или не содержащие углерод, применение которых позволяет не допустить появления трибоцементации в процессе шароодводки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Спришевский А.И. Подшипники качения / А.И. Спришевский. М.: Машиностроение, 1969. 631 с.
2. Заявка № 53-10713, Кл. В 24 В 11/06, НКИ 74 К 24. Станок для шлифования шариков.
3. А.с. РФ № 2242352, Кл. 7 В 24 В 11/02. Способ окончательной доводки шаров подшипников.

4. Куранов В.Г. Оптимизация режимов финишной обработки шаров прецизионных подшипников качения / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов, А.В. Бузов // Актуальные проблемы электронного приборостроения и машиностроения: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С. 126-129.

5. Куранов В.Г. О противоречиях между максимальной гладкостью и структурными свойствами рабочего слоя подшипников / В.Г. Куранов, А.Н. Виноградов // Исследования станков и инструментов для обработки сложных и точных поверхностей: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С. 75-81.

6. Виноградов А.Н. Повышение эксплуатационных характеристик автомобильных подшипников качения / А.Н. Виноградов // Совершенствование технологии и организации обеспечения работоспособности машин с использованием восстановительно-упрочняющих процессов: сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 24-27 сентября 2002 г. Саратов: СГТУ, 2003. С. 65-73.

7. Одинг И.А. Термическая диффузия в металлах / И.А. Одинг // ДАН СССР. 1952. Т. XXXIV. № 1. С. 258-261.

**Куранов Владимир Георгиевич –**

доктор технических наук,  
профессор кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

**Виноградов Александр Николаевич –**

доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного технического университета

**Константинов Роман Александрович –**

аспирант кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 658.5

**А.А. Кутин**

**ОРГАНИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА  
КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ**

*Рассматриваются организационно-технологические вопросы модернизации разработки и производства современных обрабатывающих центров с ЧПУ. Основной акцент делается на выявлении стратегических направлений развития станкостроения, построении новых организационно-управленческих структур.*

**A.A. Kutin**

**COMPETITIVE CNC MACHINE TOOLS RESEARCH  
AND PRODUCTION PLANNING**

*This article devoted to the technological and management tasks of modernization research and production domestic modern CNC machining centers. Main accent was made to achieve strategic ways of machine tool industry development, building new management systems.*

Станкостроение в развитых странах мира считается одной из ведущих и наиболее значимых отраслей, оказывающих огромное влияние на становление и развитие экономики государства. Явля-

ясь основной фондообразующей отраслью для предприятий различных отраслей машиностроения, станкостроение в значительной степени обуславливает интенсивность их развития. Поэтому основной задачей отечественного станкостроения является обновление технологического оборудования предприятий этих отраслей для обеспечения выпуска конкурентоспособной продукции.

Происходящие с конца 1980-х годов структурные изменения в российском машиностроении оказали решающее влияние на развитие станкостроения. Сокращение покупательной способности предприятий этих комплексов привело к кризису в станкостроении и резкому сокращению объемов выпуска оборудования. В 2008 году в России было произведено около 5000 станков, из них всего не более 300 с ЧПУ, что составляет менее 0,3% от мирового производства в стоимостном выражении.

В 2009 г. продолжается спад производства металлообрабатывающего оборудования, только за 1 квартал 2009 г. производство снизилось на 58% (рис. 1) по сравнению с аналогичным периодом 2008 г.

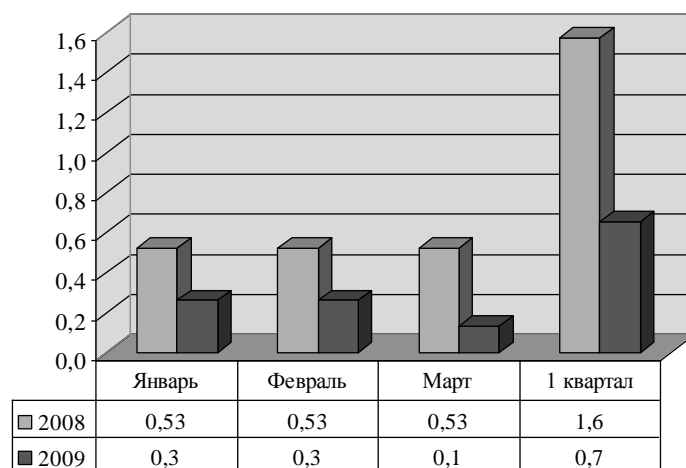


Рис. 1. Производство металлообрабатывающего оборудования (МОО), млрд. руб.

Однако несмотря на падение производства, в ближайшем будущем потенциальный спрос на российском рынке станкостроения можно оценить в 40-50 тыс. шт. высокопроизводительного станочного оборудования с ЧПУ. Это связано с тем, что парк металлообрабатывающего оборудования РФ оценивается на сегодняшний день в 2,1-2,3 млн. единиц, средний возраст которых около 20 лет, большая часть которого выработала свой ресурс и нуждается в скорейшей замене.

Поскольку станкостроение является отраслью, выпускающей в основном наукоемкую продукцию, ее специфика такова, что в условиях быстрого научно-технического прогресса она нуждается в постоянном воспроизводстве ноу-хау. Этот процесс в последние годы был слишком медленным. Основными аспектами накопленного технологического отставания российской станкоинструментальной промышленности являются:

- недостаточное количество завершенных опытно-конструкторских и технологических разработок, оформленных как комплекты рабочей конструкторской и технологической документации на конкурентоспособные импортозамещающие изделия и технологии, не уступающие лучшим зарубежным аналогам;
- недостаточная технологическая оснащенность, изношенность и моральное старение применяемого в производстве оборудования, отсутствие у предприятий отрасли современных технологий и средств измерений, сдерживающие освоение ими производства конкурентоспособной продукции;
- устаревшие структура производства, методы организации и управления производством, имеющие следствием низкую производительность труда и слишком высокую себестоимость продукции.

Мировые тенденции развития средств металлообработки показывают, что высокоскоростная и высокоточная обработка на многокоординатном оборудовании с ЧПУ становится сегодня ключевым фактором успеха современного производства.

Распространенное мнение, что любое металлообрабатывающее оборудование может быть свободно приобретено у зарубежных производителей, не соответствует действительности. Развитые

страны, стремясь обеспечить свою безопасность и технологическую конкурентоспособность на перспективу, контролируют экспорт наиболее наукоемкого оборудования и технологий как принадлежащих к технологиям двойного назначения.

К технологиям двойного назначения отнесены сегодня все виды оборудования, обеспечивающие производство летательных аппаратов, судов и другой стратегически важной продукции:

- пятикоординатные обрабатывающие центры;
- прецизионные станки;
- станки для объемной лазерной резки и др.

В США, Японии, Европейском союзе действуют системы лицензирования экспорта технологий двойного назначения. Национальные органы экспортного контроля могут отказать любому поставщику в лицензии на продажу любого товара, отнесенного к технологиям двойного назначения, на основании соображений национальной безопасности.

К юридическим механизмам в последнее время добавились и начинают применяться специальные технические средства, ограничивающие несанкционированное использование и перемещение наукоемкого металлообрабатывающего оборудования зарубежным поставщиком, такие как:

- оснащение оборудования датчиками контроля местоположения с помощью глобальной навигационной системы GPS;
- обязательное условие подключения оборудования к глобальной сети Интернет;
- установка скрытых системных программных модулей, накапливающих информацию о выпускаемой на оборудовании продукции.

В результате применения данных технических средств поставщиками наукоемкого оборудования рынок технологий двойного назначения становится прозрачным и хорошо контролируемым.

Таким образом, весьма актуальной становится задача создания отечественных импортозамещающих производств высокопроизводительных прецизионных станков для обеспечения технологической безопасности страны.

Наиболее эффективным способом увеличения инновационного потенциала российской экономики в сфере наукоемкого станкостроения является кооперация производственных, научно-исследовательских, образовательных и других организаций с использованием системного подхода и созданием Государственного инжинирингового центра станкостроения (ГИЦС) как координирующей научно-производственной компании.

Для реализации предложенного системного подхода ГИЦС должен формироваться в виде горизонтальной организационной структуры, инновационная динамика взаимодействия между научно-исследовательскими и другими подразделениями которого радикально отличается от динамики в иерархической структуре. Можно сформулировать базисные положения, определяющие общие подходы к построению организационной структуры ГИЦС по созданию и эффективному внедрению наукоемкой станочной продукции:

1. В ГИЦС функция проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) переходит в разряд непосредственной линейной производственной функции, эффективное выполнение которой прямо влияет на конечный финансовый результат всей компании в целом. Это необходимо учитывать при определении типов реакции на изменение внешней среды, что является одним из основополагающих принципов формирования организационной структуры ГИЦС.

2. Наряду с основной для ГИЦС инновационной деятельностью в его структуре должны присутствовать опытно-производственная, аналитическо-маркетинговая деятельность и стратегическое планирование. Основой всех мероприятий является инновационная стратегия инжинирингового центра как наиболее полный и всесторонний план проведения исследований и внедрений, адекватно отражающий влияние факторов внешней среды на создание инноваций и учитывающий прогнозируемые тенденции их изменения.

3. Принципы построения организационной структуры ГИЦС должны быть ориентированы на оптимальное сочетание полномочий и ответственности тех структур, где непосредственно создаются нововведения. Это позволит реализовать стратегические задачи и включить дополнительные механизмы мотивации создателей интеллектуального продукта, повышающие эффективность инновационной деятельности. При этом надо иметь в виду и обязательное наличие опытно-производственного подразделения со своими механизмами мотивации персонала.

ГИЦС будет формироваться в виде матричной структуры, которая представляет собой современный эффективный тип организационной структуры управления, построенный на принципе двойного подчинения исполнителей: с одной стороны – непосредственному руководителю функциональной службы, с другой – руководителю проекта, который наделен необходимыми полномочиями для осуществления процесса управления в соответствии с запланированными сроками, ресурсами и качеством.

Основными руководителями проектов являются главные инженеры проекта (ГИП). Они отвечают за координацию всех видов деятельности и использование ресурсов, относящихся к определенному проекту. С этой целью все материальные и финансовые ресурсы по данному проекту передаются в их распоряжение. Главные инженеры проекта также отвечают за планирование проекта и ход его выполнения по всем количественным, качественным и временным показателям. В свою очередь, функциональные руководители передают руководителю проекта некоторые из своих обязанностей и решают, где и как должна быть выполнена та или иная работа по проекту.

Предлагаемая форма организационной структуры, по сути, направлена на создание горизонтальной «гибкой» организации, что является наиболее предпочтительным для ГИЦС в условиях создания системы управления, ориентированной на качество деятельности организации.

Матричная структура способствует коллективному расходованию ресурсов, что имеет существенное значение, когда выпуск продукции сопряжен с необходимостью использования редких или дорогостоящих видов ресурсов. При этом достигается определенная гибкость, которая отсутствует в функциональных структурах, поскольку в них все сотрудники постоянно закреплены за определенными функциональными подразделениями и не могут обеспечить осуществление множества проектов. Поскольку в матричной организации сотрудники набираются из различных функциональных отделов для работы по конкретному проекту, трудовые ресурсы можно гибко перераспределять в зависимости от потребностей каждого проекта.

К подразделениям ГИЦС, обеспечивающим его деятельность относятся:

- отделение технологического перевооружения;
- отделение разработки технологического оборудования машиностроительного производства;
- отделение формирования промышленной политики;
- учебно-методическое отделение;
- опытное производство;
- финансовая служба;
- департамент общих вопросов.

Таким образом, деятельность ГИЦС будет основана на работе групп специалистов, каждая из которых будет иметь определенную цель и осуществлять четкий контроль достижения этих целей. Данные группы будут основным «строительным» блоком компании, в которую могут входить представители всех функциональных служб и которой предоставляются все необходимые для осуществления эффективной деятельности группы ресурсы и связи с контрагентами (рис. 2).

Развитие ГИЦС планируется по трем основным направлениям.

Первое направление – это увеличение численности кадрового состава существующих подразделений ГИЦС. Это связано с переходом ГИЦС на новый этап жизненного цикла организации, постановкой новых целей и задач, увеличением количества заказчиков, появлением новых проектов, что неразрывно связано с увеличением объема работ и выполняемых функций подразделений.

Второе направление развития деятельности ГИЦС связано с открытием филиалов ГИЦС в ведущих экономико-промышленных центрах Российской Федерации, таких как Екатеринбург, Нижний Новгород, Самара, Санкт-Петербург, Новосибирск, Воронеж, Омск. Данные филиалы будут специализироваться на вопросах формирования промышленной политики с учетом специфики каждого конкретного региона путем кооперации вузов, промышленных предприятий, финансовых учреждений, научно-исследовательских институтов в некую единую рабочую взаимодополняющую структуру для реализации мер по воссозданию отечественного машиностроения.

Третье направление развития ГИЦС связано с открытием в его структуре новых подразделений.

Анализ рынка станков и мировых тенденций развития технологического оборудования показывает, что в настоящее время уровень производства высокотехнологичных изделий определяют наукоемкие машины с ЧПУ специального назначения. Мировые лидеры станкостроения отходят от серийного изготовления универсальных станков широкого назначения и все больше

внимания уделяют выпуску специального высокоавтоматизированного оборудования и современных технологий для наиболее эффективного решения задач заказчиков. Такое оборудование поставляется «под ключ» вместе с наиболее эффективными технологиями, автоматизированными системами, программно-математическим обеспечением, инструментом, робототехническими комплексами.

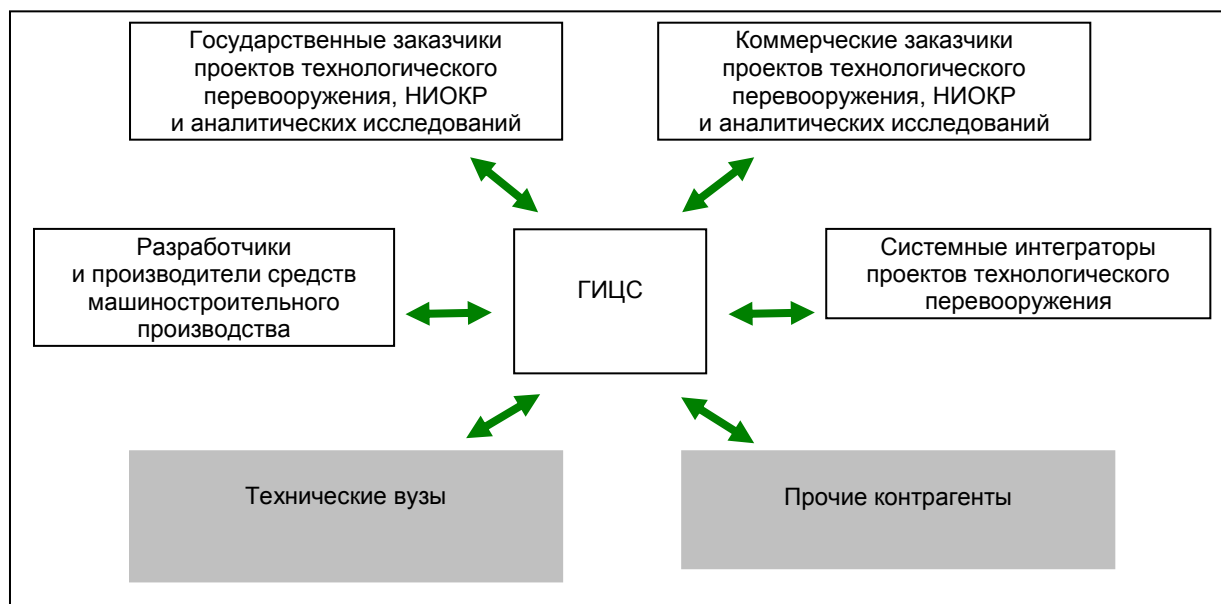


Рис. 2. Взаимодействие ГИЦС с контрагентами

Принципы модернизации отечественного станкостроения:

- работа только с мировыми лидерами станкостроения,
- использование самых передовых технологий на предприятии,
- использование отечественного программно-математического обеспечения в системах ЧПУ и CAD/CAM,
- сначала работа только как сборочного производства с дальнейшим расширением деятельности по изготовлению ответственных узлов станков и переход на ряд отечественных комплектующих.

Номенклатура выпускаемых станков определяется в соответствии с потребностями высоко-технологичных отечественных предприятий и возможностями поставок на экспорт. Такими станками могут быть:

- многокоординатные высокопроизводительные станки с ЧПУ,
- прецизионное технологическое оборудование,
- уникальные станки по весогабаритным характеристикам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Селиванов С.Г. Инноватика: учебник для вузов / С.Г. Селиванов, М.Б. Гузаиров, А.А. Кутин. М.: Машиностроение, 2008. 721 с.
2. Александров Н. У российского станкостроения есть собственная ниша / Н. Александров // Металлы и цены. 2008. № 9 (163). С. 23-25.
3. Реус А.Г. Ключевые вопросы развития станкоинструментальной отрасли требуют решения / А.Г. Реус // Главный инженер. 2007. № 10. С. 20-24.

**Кутин Андрей Анатольевич** –

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Московского государственного технологического университета «Станкин»

**А.В. Лясникова**

**КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН  
И ПРИБОРОВ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ С ПОСЛЕДУЮЩИМ  
ЭЛЕКТРОПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ**

*Приведено теоретико-экспериментальное обоснование методологии формирования и комбинированной обработки покрытий из композиционных материалов на поверхности деталей из титана и его сплавов при дозированном ультразвуковом воздействии на деталь и покрытие в процессе их электроплазменного напыления и обработки.*

**A.V. Lyasnikova**

**COMBINED TECHNOLOGY FOR MECHANICAL AND PHYSICAL-CHEMICAL TREATMENT  
TITANIUM DETAILS OF MACHINES AND INSTRUMENTS IN ULTRASONIC  
FIELD FOLLOWED PLASMA-SPRAYING NANOSTRUCTURED COATINGS**

*We made theoretical and experimental motivation of the methodology of creation and combined treatment composite coating on the titanium surfaces with ultrasonic influence on detail during plasma-spraying process and finish manipulation.*

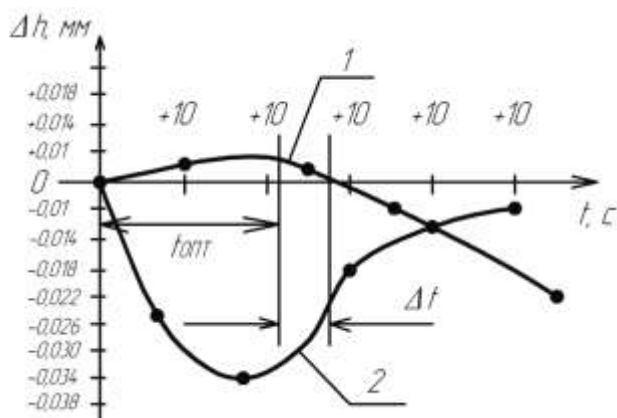
Совершенствование технических систем различного назначения в современных условиях жесткой конкуренции и повышенных требований к точности, надежности, экологической безопасности, эргономичности и функциональности изделий невозможно без комплексного использования достижений в различных областях технических наук: теории резания, машиноведении, материаловедении. При этом тенденциями развития данных направлений являются нанотехнологические процессы создания материалов со специальными свойствами и модифицирования их поверхности, расширение объема применения финишных процессов формообразования, в том числе с применением комбинированных процессов механической и физико-химической обработки. При этом основной проблемой широкого использования новых материалов и процессов в производстве является неадекватность требований к свойствам поверхности изделий и основному объему материала. Как правило, материалы, выполняющие требуемые функции, либо являются малопрочными, либо, напротив, трудно поддаются размерной обработке и обычно имеют значительную стоимость. Сказанное относится к самому широкому классу изделий машино- и приборостроения: от элементов высокоточных опор и передач машин и приборов до изделий электровакуумного приборостроения и микроэлектроники, а также медицинской техники, обладающих весьма специфическими свойствами (эмиссионные, поглощение СВЧ-энергии, полупроводниковые, газодиффузионные, медико-биологические и т.п.).

Данное исследование направлено на разработку комплекса методов комбинированной воздушно-абразивной и ультразвуковой обработки поверхности деталей под последующее напыление, электроплазменного напыления композиционных покрытий с повышенной пористостью и адгезией, а также финишной кавитационной размерной обработки высокопористых покрытий, обеспечивающих заданные характеристики изделий приборостроения и медицинской техники.

Выявлены теоретические предпосылки формирования адгезионнопрочных высокопористых покрытий на деталях приборостроения и медицинского назначения из титана и его сплавов, при этом обоснован новый способ воздушно-абразивной обработки их поверхности с воздействием ультразвука, обеспечивающий увеличение шероховатости микрорельефа и повышение стабильности процесса и точности изделия.

Получение заданной адгезии предлагается осуществлять путем увеличения параметров микрорельефа поверхности и его активацией за счет ультразвуковой воздушно-абразивной обработки с последующим электрохимическим растравливанием в ультразвуковом поле [1-4].





Кинетика изменения размера детали с течением времени в зависимости от метода абразивно-струйной обработки

Образование микрорельефа поверхности в процессе абразивно-струйной обработки происходит путём многократного наложения лунок различной формы и размера, оставшихся от соударения абразивных зёрен с поверхностью основы. Если поверхность детали будет совершать дополнительно ультразвуковые колебания (УЗК), то на процесс образования микрорельефа будут накладываться дополнительные факторы, влияние которых будет определяться интенсивностью ультразвуковых колебаний и их ориентацией относительно потока частиц.

Для случая изменяющихся скоростных режимов, направленности свободного удара и массы абразивных частиц использована модель удара твердой абразивной частицы в виде сферы с произвольным диаметром по плоской поверхности – упругому полупространству, с последующим решением контактной задачи о ее вдавлении в полупространство под углом с переменными скоростью и массой [1, 2].

Была изучена кинетика изменения размеров исходных деталей до обработки и после обычной абразивно-струйной обработки и с наложением УЗ. Результаты замеров представлены на рисунке. Вследствие местного повышения пластичности материала в результате воздействия УЗ (облегчение смещения дислокаций и тепловой эффект) в первый момент обработки происходит пластическое отеснение материала из лунки в виде валиков. Это приводит к некоторому увеличению размера заготовки. В дальнейшем зерна абразива воздействуют на большие валики отесненного металла и разрушают их, что приводит к нарастанию износа. Происходит образование и разрушение валиков (кривая 1).

При обычной обработке отрыв материала осуществляется по механизму фрикционного и адгезионного износа, происходит срезание элементов шероховатости. Поэтому имеет место выравнивание исходного рельефа и в дальнейшем наклеп поверхности, что замедляет размерный износ (кривая 2). В целом суммарное изменение размера в течение 50 с обработки с наложением УЗ составляет 0,03 мм, без УЗ  $\approx 0,1$  мм. Таким образом, применение ультразвука при воздушно-абразивной обработке повышает точность изделия, поскольку в меньшей степени изменяет исходный размер заготовки, полученный предварительной механической обработкой.

Исследована динамика развития шероховатости в результате применения данного способа и последующего электрохимического травления и определены параметры, обеспечивающие наилучшее качество покрытий [3, 4].

В частности, на основании вероятностного подхода и кинетической теории прочности была получена зависимость динамики развития шероховатости поверхности при воздушно-абразивной обработке порошком с бидисперсным распределением частиц по размерам:

$$\Theta = \frac{2(R_a + R_{\max})}{S_m} = \frac{2(R_a^0 + R_{\max}^0)}{S_m^0} + \frac{2}{S_m} \left[ 1 + \frac{2\lambda \rho_{II} (P - P_0) \sin^2 \alpha}{3\rho RT} \times (\bar{r}_{II}^3 + r_{\max}^3) - \frac{u_0}{2RT} \right] \sqrt{2k_0 \tau}, \quad (1)$$

где  $0 \leq \Theta \leq 1$  – относительная шероховатость поверхности (доля поверхности, занятая полусферическими «лунками» локального абразивного разрушения),  $R_a^0, R_{\max}^0, S_m^0$  и  $R_a, R_{\max}, S_m$  – начальные и текущие во времени  $\tau$  пескоструйной обработки параметры профилометрии;  $\lambda$  – структурный фактор и  $u_0$  – молярная энергия химических связей обрабатываемой поверхности;  $P - P_0$  – избыточное давление и  $\alpha$  – угол атаки воздушно-абразивной струи;  $\rho_{II}$  и  $\rho$  – плотности абразивных частиц и воздуха,  $\bar{r}_{II}$  и  $r_{\max}$  – средний и максимальный радиусы сферических абразивных частиц;  $k_0$  – константа параболического закона роста «лунок» локального разрушения поверхности,  $R = 8,314$  Дж/(моль·К) и  $T$  – абсолютная температура.

Задаваясь необходимым приростом шероховатости поверхности  $\Delta\Theta$ , были получены выражения для времени окончания процесса обработки, которое в данном случае характеризуется практически полным прекращением роста ее элементов и началом размерного износа:

$$\tau_{\Delta} = \frac{S_m^2 \Delta \Theta^2}{8k_0} \left[ 1 + \frac{2\lambda \rho_{II} (P - P_0) \sin^2 \alpha}{3\rho RT} \left( \bar{r}_{II}^3 + r_{\max}^3 \right) - \frac{u_0}{2RT} \right]^2. \quad (2)$$

Нами установлена возможность формирования потока частиц с размерами в десятые и сотые доли микрометра с использованием ультразвукового воздействия на их поток во время электроплазменного напыления покрытий [5].

Качественная картина взаимодействия частиц с акустическим полем при движении в потоке плазмы может быть представлена следующим образом. Первоначально частицы имеют различный размер, попадая в зону пучности звукового давления, более крупные частицы диспергируются до критического размера и продолжают движение к основе. Частицы, размер которых меньше критического, проходят через пучность без изменения размеров. Очевидно, если создать в пространстве между плазмотроном и основой такие условия акустического воздействия, что размер частиц в потоке будет не меньше критического, то все частицы, пройдя через границу пучности звукового давления, приобретут почти одинаковые размеры. Таким образом, основы будут достигать частицы одного размера и структура покрытия будет складываться из однородных частиц и их агломератов. С учетом выражений, описывающих акустическое давление, давление поверхностной пленки жидкости (давления Лапласа), и зависимости размеров диспергированных частиц от параметров ультразвука получено выражение, позволяющее рассчитать амплитуду и частоту колебаний по заданному размеру частиц:

$$A = \sqrt{\frac{6\alpha}{\rho_0 \cdot c_0 \cdot r \cdot (\pi \cdot f)^2}}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – поверхностное натяжение;  $\rho_0$  – плотность титана;  $c_0$  – скорость звука в титане;  $r$  – требуемый радиус частицы;  $f$  – частота колебаний.

Для большинства применяемых в приборостроении и медицинской технике материалов расчетная амплитуда ультразвука составляет 100-150 мкм. Расчетным путем получена зависимость размера микрочастиц в потоке от амплитуды и частоты ультразвука: минимальные размеры частиц обеспечиваются при амплитуде 110 мкм и частоте 60 кГц – 0,067 мкм, а также при амплитуде 80 мкм и частоте 40 кГц – 0,088 мкм. Таким образом, при использовании реально достижимых частот и амплитуд ультразвука теоретически возможно формировать поток напыляемых частиц из микрокапель нанодиапазона [5].

Анализ возможных методов финишной обработки композиционных покрытий с целью получения равномерной пористой структуры и точности поверхности показал, что существующие контактные методы резания лезвийным и абразивным инструментами неприменимы ввиду загрязнения поверхности и выходящих на поверхность пор покрытия продуктами износа инструмента и внешней среды, что недопустимо для изделий приборостроения и медицинской техники. Предложен новый процесс обработки в дистиллированной воде за счет воздействия энергии кавитирующих микропузырьков в озвучиваемом объеме жидкости [7].

Особенностью предлагаемого процесса модифицирования поверхности титановых деталей с композиционными покрытиями является использование при подготовке поверхности перед напылением ультразвуковой воздушно-абразивной обработки на режимах, исключаящих размерную эрозию (избыточное давление 0,65 МПа, амплитуда УЗ 8-10 мкм, время обработки 30-40 с), введение дополнительной операции УЗ химического травления этой поверхности с целью получения равномерного рельефа при увеличенной шероховатости в растворе 2М HNO<sub>3</sub> + 1М HF в течение 5 минут с интенсивностью УЗ 9,6 Вт/см<sup>2</sup>. Дополнительно при напылении титана подложке сообщаются ультразвуковые колебания малой амплитуды (5-6 мкм), способствующие более полному (до 90%) заполнению лунок микрорельефа и увеличению вследствие этого адгезии. При напылении кальцийфосфатной керамики амплитуду УЗК увеличивают до 12-15 мкм.

Рекомендуются следующие режимы финишной размерной обработки композиционных покрытий в ультразвуковом поле: амплитуда ультразвуковых колебаний излучателя 15...20 мкм при резонансной частоте 22 кГц; частота вращения деталей 10...20 об/мин, скорость их возвратно-поступательного перемещения относительно излучателя – 30...40 мм/мин. Детали помещаются в дистиллированную воду на расстоянии 5...10 мм от торца излучателя. Время обработки должно быть не менее 20 с, т.к. в противном случае результат обработки будет практически не виден. Для получения однородного микрорельефа на поверхности целесообразно сузить зону воздействия ультразвука.

Для осуществления данного процесса нами создана специальная установка с системой фокусировки ультразвукового поля.

Таким образом, в результате проведенных исследований модифицирования поверхности основы за счет комплексной механической и физико-химической обработки, приводящей к существенному росту шероховатости, теоретически обоснована возможность улучшения адгезионных свойств композиционных покрытий. Теоретически обоснован метод электроплазменного напыления композиционных покрытий с заданным по условиям функционирования изделия сочетанием компонентов и наноструктурными элементами. Предложен и обоснован эффективный метод финишной размерной обработки после напыления высокопористых покрытий, исключающий контакт их поверхности с инструментом. Разработаны рекомендации по формированию плазменным напылением композиционных покрытий различного состава, обеспечивающих повышение эффективности их функционирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бекренев Н.В. Ультразвуковая абразивно-струйная подготовка поверхности под электроплазменное напыление биопокрытий дентальных имплантатов / Н.В. Бекренев, С.В. Приходько, А.В. Лясникова // Технология металлов. 2005. № 11. С. 39-43.

2. Лясникова А.В. Исследование адгезионной прочности композиционного титан-гидроксиапатитового покрытия, напыленного на модифицированную с воздействием ультразвука основу / А.В. Лясникова, Н.В. Бекренев, С.В. Приходько // Композиты XXI века: докл. Междунар. симпозиума восточно-азиатских стран по полимерным композиционным материалам и передовым технологиям. 20-22 сентября 2005 г. Саратов, 2005. С. 249-252.

3. Лясникова А.В. Стоматологические имплантаты. Исследование, разработка, производство, клиническое применение / А.В. Лясникова, А.В. Лепилин, Н.В. Бекренев, Д.С. Дмитриенко. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2006. 254 с.

4. Исследование влияния ультразвукового химического травления поверхности на структуру и свойства плазмонапыленных покрытий / А.В. Лясникова, Р.С. Великанов // Восстановление и упрочнение деталей машин: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2003. С. 150-156.

5. Бекренев Н.В. Формирование покрытий плазменным напылением с ультразвуковым диспергированием пруткового материала / Н.В. Бекренев, Д.В. Трофимов, А.В. Лясникова // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2003. № 1. С. 87-96.

6. Лясникова А.В. Применение электроплазменной технологии для нанесения фторгидроксиапатитовых биоактивных покрытий на дентальные имплантаты / А.В. Лясникова, О.А. Дударева // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 2. С. 153-159.

**Лясникова Александра Владимировна** –

кандидат технических наук,

доцент кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»

Саратовского государственного технического университета

УДК 621.941.26.08

**В.В. Мартынов**

#### **УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ СТАНКА: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД**

*Представлены результаты решения задачи синтеза закона управления уровнем размерной настройки станка по результатам касания инструментом поверхности вращающейся заготовки.*

V.V. Martynov

## CONTROL OF LEVEL OF MACHINE TOOL DIMENSIONAL ADJUSTMENT: THE ANALYTICAL APPROACH

*Results of the problem decision of the control law synthesis by level of machine tool dimensional adjustment by results of a contact the tool and rotating work piece are presented.*

В настоящее время станкостроение переживает новый этап развития, когда в единый комплекс объединяются оборудование, электронно-вычислительные системы управления, транспортные средства, контрольно-измерительные устройства. Основу такого комплекса составляют автоматизированные станки или станочные модули, представляющие собой как специально созданные, так и приспособленные или модернизированные за счет прогрессивных конструкторских решений технологические единицы, способные автоматически осуществлять операции механической обработки в пределах их технических характеристик.

Наряду с обеспечением точности все более важное значение приобретает управление ее параметрами, в частности точностью размера, поскольку под влиянием переменных систематических факторов, связанных с затуплением режущего инструмента, а также температурными деформациями элементов конструкции станка, в процессе обработки происходит смещение первоначального уровня настройки и возникает опасность выхода размера изготовленных деталей за пределы установленного поля допуска. Поэтому совершенствование существующих и разработка новых методов и систем управления размерной точностью, особенно функционирующих на основе информации, получаемой непосредственно в процессе обработки, всегда является актуальной научной и практической задачей, решение которой позволяет значительно повысить эффективность использования станков, особенно с ЧПУ. Способствуя улучшению системных свойств (прежде всего адаптируемости и инвариантности), управление не связано со значительными усложнениями конструкции, повышением металлоемкости, габаритов и других аналогичных характеристик станка, поэтому обеспечивают получение значительного экономического эффекта и может применяться при различных видах механической обработки в часто меняющихся условиях работы станков.

Проблема управления точностью обработки связана с тем, что каким бы качественным не был станок, какие бы меры не предпринимались по подавлению действующих на него в процессе работы возмущений, учесть абсолютно все, что вызывает потерю точности, не представляется возможным. В результате быстрее или медленнее станок будет терять точность. Управление же точностью позволяет дискретно или непрерывно поддерживать ее на заданном уровне.

Управление точностью связано с решением двух задач:

- своевременное получение информации требуемой точности о погрешности обработки;
- своевременное внесение соответствующей поправки в относительное положение рабочих органов станка, несущих инструмент и/или заготовку.

С этой целью в работе [1] был предложен метод, основанный на касании резцом вращающейся заготовки и фиксации с помощью датчика обратной связи координаты, в которой находится в этот момент рабочий орган станка. От этой координаты и рассчитываются все последующие перемещения, связанные со снятием заданного на обработку припуска. Другими словами, в момент касания в рабочей зоне станка создается новая система координат, определяемая реальным (а не запрограммированным) положением заготовки относительно режущего инструмента.

Результаты экспериментального исследования метода показали, что он позволяет эффективно удерживать заданный уровень размерной настройки станка, при этом состояние режущего инструмента качественных изменений (скола, поломки) не претерпевает. Количественные же его изменения практически однозначно отображает траектория смещения (дрейф) точки касания (рис. 1). В связи с этим результаты аналитического описания кривой смещения точки касания могут стать основой синтеза закона управления точностью размера в условиях изменения состояния инструмента.

Описать монотонные кривые можно различными зависимостями. В частности, кривую на рис. 1 очень точно аппроксимирует логарифмическая зависимость, уравнение которой имеет следующий вид:

$$S = 18,77 \times \ln(N) + 1,23, \quad (1)$$

где  $S$  – смещение точки касания;  $N$  – порядковый номер обработанной на станке заготовки.

Если с помощью этого уравнения рассчитать координаты точек, в которые необходимо было бы выводить рабочий орган станка перед началом обработки каждой последующей заготовки без ее касания инструментом, то результат представлял бы собой временной ряд, показанный графиком 1 на рис. 2. Для сравнения графиком 2 там же показан временной ряд, полученный по результатам обработки с касанием.

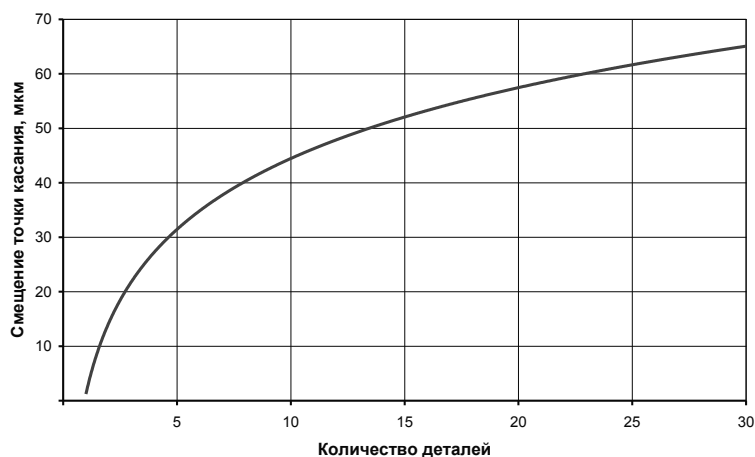


Рис. 1. Дрейф точки касания инструмента и заготовки

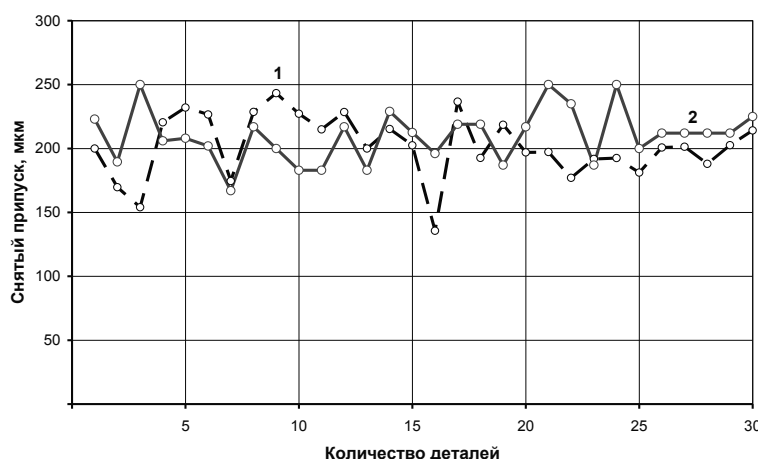


Рис. 2. Результаты управления точностью размера при использовании зависимости (1) и метода касания

Количественную оценку результатов управления с помощью уравнения (1) можно выполнить с позиций установления значимости расхождения рядов, степень которого зависит от того, насколько эффективно из ряда 1 исключен тренд, вызванный в данном случае приработкой инструмента.

Оценить степень расхождения рядов можно по  $R$ -критерию Романовского следующим образом:

- если  $R > 3$ , то расхождение считается существенным;
- если  $R \leq 3$ , то расхождение признается случайным.

Вычисление  $R$ -критерия для данных, представленных на рис.2, дало значение 0,826, т.е. незначимое расхождение между рядами. Из этого следует, что управление по зависимости (1) также позволяет обеспечивать стабильные результаты обработки заготовок в условиях изменения состояния режущего инструмента. Вместе с тем практическое использование зависимости (1) связано с получением исходных данных, необходимых для определения ее параметров, значения которых изначально неизвестны, поскольку на процесс изнашивания инструмента влияет большое число случайных факторов. В результате износ может развиваться по различным траекториям даже у инструмента, изготовленного из одного мате-

риала. Это означает, что координаты точек касания будут иметь разброс в каждом временном сечении. Следовательно, для решения задачи аналитического описания траектории смещения уровня размерной настройки необходима оценка степени значимости этого разброса. Результатом оценки станет область, в которой значения рассчитанных управляющих воздействий будут находиться с заданной вероятностью. Если траектории однородные, то сформировать область можно с позиций традиционного в математической статистике правила  $3\sigma$ . Если же траектории неоднородные, то для определения размеров области целесообразнее всего воспользоваться неравенством Чебышева.

В заключение отметим, что практическое использование представленных материалов позволяет эффективнее решать традиционные задачи числового программного управления станками, в частности, технологическую.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бржозовский Б.М. Управление уровнем размерной настройки на ГПМ / Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов // СТИН. 1997. № 4. С. 7-12.

**Мартынов Владимир Васильевич** –

доктор технических наук, профессор кафедры

«Конструирование и компьютерное моделирование

технологического оборудования в машино- и приборостроении»

Саратовского государственного технического университета

УДК 621.914

**С.Г. Митин**

### **ПОДСИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ**

*Рассматривается модель автоматизированного проектирования структуры технологических операций для оборудования фрезерной группы. Приводятся описание алгоритма генерации возможных вариантов структур технологических операций, методики отсева нерациональных вариантов и выбора рациональных вариантов структур для фрезерных операций.*

**S.G. Mitin**

### **DESIGN SUBSYSTEM OF RATIONAL STRUCTURE TECHNOLOGICAL OPERATIONS FOR MILLING GROUP EQUIPMENT**

*The model computer-aided design of structure technological operations for milling group equipment is shown in the article. The article presents the description of the generation algorithm of possible options of structures technological operations and the **screening model of unreasonable options and choosing of rational options of structures for milling operations.***

Теоретические основы разработки технологических операций в рамках автоматизированной системы планирования технологических процессов изложены в работах [1-3], где предлагается общая последовательность проектирования операционных технологических процессов. Основными отличиями от известных подходов к разработке технологических процессов являются возможность полной формализации всех проектных процедур технологической подготовки производства и параллельное проектирование технологических операций для всех запланированных для обработки деталей с учетом реально складывающейся производственной ситуации.

Из-за отсутствия в настоящее время классификации технологических операций с позиции структурного многообразия в автоматизированной системе планирования технологических процессов предполагается создание специфических методик формирования рациональных структур операций для каждой группы технологического оборудования. В связи с этим необходимо рассмотреть конструктивные особенности и технологические возможности оборудования фрезерной группы для определения задач по выбору возможных вариантов структур технологических операций, выполняемых на данном виде оборудования.

Анализируя возможности оборудования фрезерной группы с позиции одновременной обработки несколькими режущими инструментами либо одновременной обработки нескольких деталей, приходим к выводу, что в условиях серийного и мелкосерийного производства, когда целесообразно использование универсального фрезерного оборудования и универсальных установочно-зажимных приспособлений, применение сложных наладок для многоинструментальной или многоместной обработки приводит к снижению показателя гибкости производственной системы. Поэтому задача проектирования структур технологических операций сводится к выбору рациональной последовательности технологических переходов в каждом кортеже переходов, поступающем с этапа выбора маршрутов обработки.

На вход подсистемы проектирования структур технологических операций поступает множество кортежей технологических переходов  $K = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ , где  $n$  – количество кортежей. Каждый кортеж можно представить в виде неупорядоченного множества  $K_i = \{K_{i1}, K_{i2}, \dots, K_{im}\}$ , где  $i = 1..n$ ,  $m$  – количество переходов в  $i$ -м кортеже. Каждый элемент множества  $K_i$  представляет собой множество характеристик отдельного перехода, одной из которых является код элементарной обрабатываемой поверхности. Для определения возможных последовательностей переходов внутри каждой отдельной операции необходимо в первую очередь упорядочить множества  $K_i$ .

Обозначим  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_j, S_{j+1}, \dots, S_{p-1}, S_p\}$  – множество различных элементарных поверхностей, где  $j = 1..p$ ;  $p$  – количество элементарных поверхностей. Рассмотрим все возможные сочетания двух элементарных поверхностей без учёта порядка обработки:  $S_1 - S_2, \dots, S_1 - S_j, S_1 - S_{j+1}, \dots, S_1 - S_{p-1}, S_1 - S_p, \dots, S_2 - S_j, S_2 - S_{j+1}, \dots, S_2 - S_{p-1}, S_2 - S_p, \dots, S_j - S_{j+1}, \dots, S_j - S_{p-1}, S_j - S_p, S_{j+1} - S_{p-1}, S_{j+1} - S_p, S_{p-1} - S_p$ . В связи с тем, что в одном кортеже может быть несколько элементарных поверхностей одинакового типа, имеют место и следующие пары:  $S_1 - S_1, S_2 - S_2, S_j - S_j, S_{j+1} - S_{j+1}, S_{p-1} - S_{p-1}, S_p - S_p$ . Далее необходимо установить возможные последовательности обработки рассматриваемых пар поверхностей в соответствии с накопленным технологическим опытом и рекомендациями к проектированию технологических операций.

Предположим следующие возможные последовательности обработки для указанных выше пар элементарных поверхностей (рис. 1). Исходящая стрелка обозначает, что данная элементарная поверхность должна быть обработана раньше поверхности, на которую указывает стрелка. Если между обозначениями элементарных поверхностей указаны две противоположно направленные стрелки, то для данной пары элементарных поверхностей возможен любой порядок обработки.

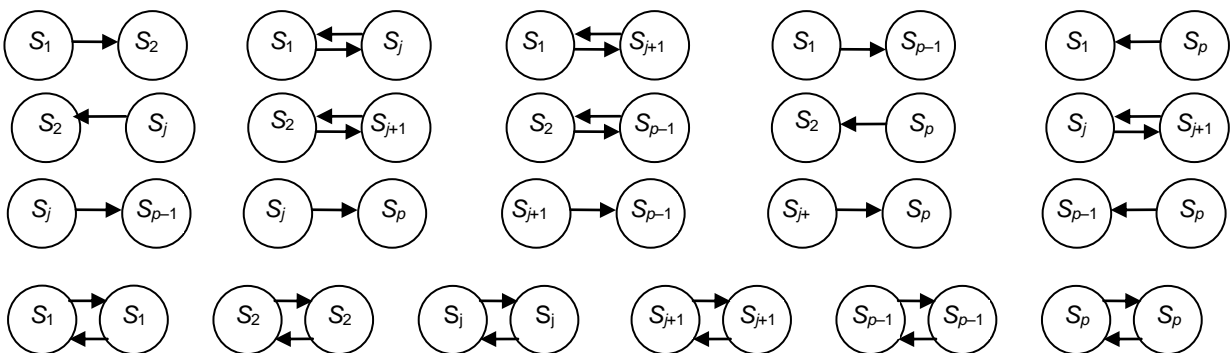


Рис. 1. Возможные последовательности обработки пар элементарных поверхностей

Если в кортеже технологических переходов имеются три, четыре и более элементарных поверхностей, то необходимо составить схемы возможных последовательностей обработки для трех, четырёх и более поверхностей. Число вариантов последовательностей стремительно возрастает.

тает с увеличением количества поверхностей в кортеже переходов. В связи с этим для удобства представления и обработки информации воспользуемся математическим аппаратом теории графов и объединим все схемы возможных последовательностей обработки элементарных поверхностей в одну.

Пусть в каждой вершине графа находится код элементарной поверхности. Каждое ребро между двумя вершинами выражает последовательность обработки: вершина с исходящей стрелкой определяет код поверхности, которая должна обрабатываться раньше по отношению к поверхности, указанной в вершине, на которую указывает стрелка. Если нет принципиальной разницы в последовательности обработки каких-либо двух поверхностей, то две вершины графа с данными поверхностями будут соединяться двумя противоположно направленными стрелками.

Для определения возможной последовательности обработки  $i$ -го кортежа, состоящего из  $m$  переходов, сначала из графа  $G$  выбирается замкнутый контур, вершины которого соответствуют обрабатываемым поверхностям в кортеже. Затем непосредственно определяется последовательность обработки путём обхода контура по стрелке с соблюдением определенных условий.

В соответствии с представленной моделью в случае проектирования технологических операций для оборудования фрезерной группы для определённых пяти элементарных поверхностей, на основе справочных рекомендаций к проектированию технологических операций для оборудования фрезерной группы определяем последовательности обработки пар элементарных поверхностей. В результате получаем множество возможных последовательностей обработки пар поверхностей.

Граф, изображённый на рис. 2, отражает связи между последовательностями обработки элементарных поверхностей для оборудования фрезерной группы в формализованном виде, благодаря чему появляется возможность для проектирования автоматизированной подсистемы выбора возможных вариантов последовательностей технологических переходов.

Отсев нерациональных вариантов последовательностей технологических переходов производится в первую очередь по степени точности обработки, которая может быть определена вектором точности

$$Q = (I, R), \quad (1)$$

где  $I$  – квалитет точности обработки;  $R$  – показатели шероховатости поверхности.

Для каждого перехода в соответствующем варианте последовательностей  $K_{ij}' = (k_{ij1}', k_{ij2}', \dots, k_{ijq}' \dots)$ , где  $i$  – номер кортежа переходов,  $j$  – номер варианта последовательности переходов в данном кортеже,  $q = 1..m$  – порядковый номер перехода в  $j$ -м варианте последовательности,  $m$  – количество переходов в  $i$ -м кортеже, производится сравнение степени точности обработки при условии, если  $m > 1$ .

Если на предшествующем переходе  $k_{ij(q-1)'}$  необходимо достигнуть квалитет точности меньше, чем на последующем  $k_{ijq}'$ , то такие варианты последовательностей отсеиваются. При равенстве квалитетов двух смежных переходов производится аналогичное сравнение по требуемому показателю шероховатости поверхности. Если и показатели шероховатости оказываются равнозначными, то такой вариант последовательности остаётся в множестве возможных вариантов структур операции.

В результате после отсева нерациональных вариантов структур операций образуется множество кортежей технологических переходов  $K''$ , каждый элемент которого представляет собой множество вариантов последовательностей обработки соответствующего кортежа переходов с учётом отсева нерациональных вариантов.

Далее из множества  $K''$  необходимо выбрать рациональные варианты структур технологических операций. Основным признаком для этого выбора является штучно-калькуляционное время  $T_{ум.к}$  на каждой операции. Преимущество имеет тот вариант последовательности обработки, при котором  $T_{ум.к}$  минимально.

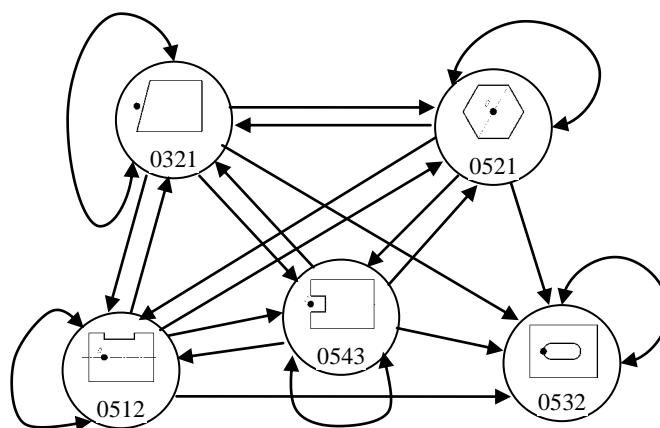


Рис. 2. Граф возможных последовательностей обработки элементарных поверхностей для оборудования фрезерной группы



Каждый кортеж технологических переходов содержит информацию о способах базирования заготовки на каждом переходе и коды и относительное расположение соответствующих базовых поверхностей. Следовательно, для подсчёта количества переустановок заготовки для каждого варианта последовательностей переходов при количестве переходов в кортеже больше одного необходимо сравнить тип и расположение базовых поверхностей на предшествующем переходе с типом и расположением базовых поверхностей на последующем переходе. Одновременно можно производить сравнение типоразмеров инструмента для двух смежных переходов в кортеже.

Итак, на выходе подсистемы проектирования рациональной структуры технологической операции оказывается множество кортежей технологических переходов  $K''' = \{K'''_1, K'''_2, \dots, K'''_n\}$ , где  $n$  – количество кортежей. Для каждого кортежа имеется множество вариантов структур операций с упорядоченными в рациональной последовательности технологическими переходами. Каждый вариант представлен в виде множества  $K'''_i = (K'''_{i1}, K'''_{i2}, \dots, K'''_{im})$ , где  $i = 1..n$ ,  $m$  – количество переходов в  $i$ -м кортеже.

Таким образом, на выходе подсистемы проектирования структур технологических операций для оборудования фрезерной группы имеются рациональные варианты структур технологических операций, которые используются на последующих этапах автоматизированного проектирования технологических операций для оборудования фрезерной группы. Наличие нескольких вариантов решений по выбору структур технологических операций для оборудования фрезерной группы позволяет оперативно реагировать на постоянно изменяющиеся производственные условия, при этом сокращается время проектирования технологических операций и снижается себестоимость изготавливаемых изделий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкарев П.Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки / П.Ю. Бочкарев // Технология машиностроения. 2002. № 1. С. 10-14.
2. Бочкарев П.Ю. Планирование технологических процессов в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем. Теоретические основы разработки подсистем планирования технологических операций: учеб. пособие / П.Ю. Бочкарев, А.Н. Васин. Саратов: СГТУ, 2004. 74 с.
3. Бочкарев П.Ю. Основные принципы разработки операций в системе планирования технологических процессов механической обработки / П.Ю. Бочкарев, В.А. Назарьева // СТИН. 2006. № 10. С. 2-6.

**Митин Сергей Геннадьевич** –

аспирант кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.391.822

**А.А. Никитин, С.В. Дробязко**

#### **КОНСЕРВАТИВНАЯ СВЧ ДИАГНОСТИКА ПОДШИПНИКОВ БУКСОВОГО УЗЛА**

*Рассмотрена возможность применения нового бесконтактного СВЧ метода вибродиагностики подшипников буксового узла без демонтажа буксы.*

**A.A. Nikitin, S.V. Drobjazko**

#### **CONSERVATIVE SHF DIAGNOSTICS OF BEARINGS AXLE BOX OF THE RAILWAY**

*Possibility of application new contactless SHF a method of vibrating diagnostics of bearings railway without axle box dismantle is considered.*

Непрерывное развитие таких отраслей техники, как авиационная, машиностроительная и других, связано с применением большого числа подшипников качения в качестве опор различных вращательных или колебательных узлов и механизмов. При этом в большинстве случаев качество работы всего механизма зависит от динамических явлений, происходящих в подшипниковых узлах.

Специалистам железнодорожного транспорта хорошо известна проблема получения достоверной диагностики подшипников буксовых узлов. Их техническое состояние определяет работоспособность колёсных пар и безопасность движения. Поэтому целесообразно, кроме пооперационного контроля элементов в процессе сборки каждого роликового подшипника, ввести контроль уровня вибрации и диагностику подшипника до и после установки в буксовый узел. Это можно осуществить поэтапно с помощью вибродиагностики отдельно для подшипников и буксового узла в сборе. Данные измерения позволят проводить качественный подбор подшипников для комплектации буксового узла, а также зафиксировать дефекты, которые могут возникнуть в процессе установки подшипников и монтажа буксы в целом. Наиболее приемлемым в данном случае является радиоволновой бесконтактный метод с использованием сверхвысокочастотного вибропреобразователя перемещений (СВЧ-ВП) [1]. Максимальная чувствительность СВЧ-ВП к перемещениям достигает  $3 \cdot 10^{-9}$  м (3 нм). Диапазон измеряемых частот механических колебаний находится в интервале от долей одного герца до десяти тысяч герц. По сравнению с традиционными контактными методами измерения предлагаемый метод имеет следующие преимущества:

- отсутствие собственных резонансов и зависимостей: от состояния контролируемой поверхности, уровня поджима, температуры зоны измерения;
- обеспечение безынерционного измерения параметров механических колебаний (вибрации);
- возможность обнаружения малых дефектов на стадии зарождения, а также наблюдения динамики их развития;
- выходной сигнал СВЧ-ВП не зависит от состава и структуры металла.

Программное обеспечение измерительного комплекса на основе СВЧ-ВП позволяет проводить статистический анализ результатов измерений, диагностику методами временного, а также спектрального анализа вибросигнала и формировать протоколы испытаний.

С целью выяснения возможности применения данного метода для контроля буксовых подшипников была проведена диагностика технического состояния подшипников снятых с колесных пар.

Вибродиагностике были подвергнуты роликовые подшипники 42726. Измерения проводились бесконтактным методом с помощью СВЧ-ВП на стандартной приводной установке типа ВНИПП-508. Она обеспечивала вращение шпинделя до 750 об/мин и необходимое радиальное усилие.

На рис. 1 представлены временные сигналы механических колебаний подшипников № 3401 (1а), № 372-Б (1б) и № 274 (1в), а соответствующие им значения пик-фактора в полосе частот 0,5-5,0 кГц составили: 22;16,5 и 11.

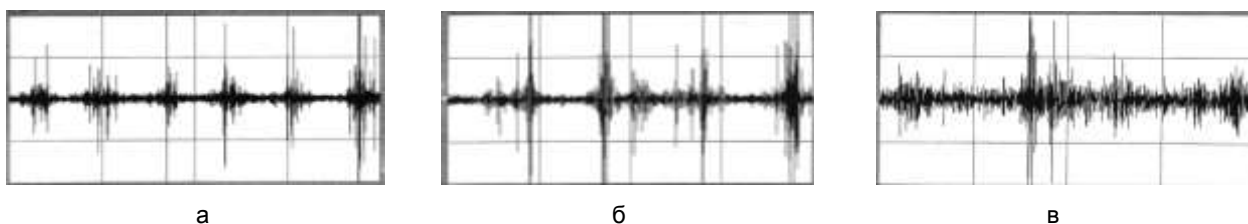


Рис. 1

Анализ временного сигнала виброскорости, исходного спектра и огибающей спектра подшипника № 3401 показал наличие дефектов на дорожках качения внутреннего и наружного колец, а также на телах качения. Программа поиска дефектов, встроенная в измеритель, дала идентичный результат. При этом виброскорость составляла величину 954,39 мкм/с, а пик-фактор: 22. Последующая разборка подшипника и визуальный осмотр его элементов показали, что на дорожке качения внутреннего кольца наблюдалась начальная стадия точечного выкрашивания с шелушением (рис. 2). На образующих поверхностях семи роликов были обнаружены забоины от одной до трех на каждой. В качестве примера на рис. 3 приведена наиболее типичная забоина на одном из роликов подшипника. Дорожка качения наружного кольца содержала участок шелушения площадью в несколько квадратных сантиметров (рис. 4).



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4

Диагностика технического состояния подшипника № 372-Б выявила присутствие дефектов дорожек качения внутреннего и наружного колец. Разборка и визуальный осмотр дали следующий результат: на дорожке качения внутреннего кольца обнаружена забоина (рис. 5); на дорожке качения наружного кольца наблюдался прижог с выкрашиванием (рис. 6). В данном случае виброскорость достигала 1528,4 мкм/с, а пик-фактор – 16,5.

Измерения параметров вибрации подшипника № 274 с последующим анализом данных, а также программа поиска дефектов однозначно определили дефект дорожки качения наружного кольца. Визуальный осмотр элементов подшипника позволил обнаружить наличие вмятин диаметром не более двух миллиметров на дорожке качения наружного кольца (рис. 7). Виброскорость составила 179,42 мкм/с, а пик-фактор – 11.



Рис. 5



Рис. 6



Рис. 7

Анализ измерений, а также результаты последующих визуальных инструментальных осмотров элементов подшипников показывают:

- возможность обнаружения зарождающихся дефектов;
- совпадение диагностируемых дефектов роликовых подшипников с действительными дефектами;
- объективность оценки технического состояния буксового подшипника бесконтактным методом с помощью СВЧ-ВП.

На завершающем этапе, после установки подшипников в буксу, необходимо выполнить диагностику технического состояния буксового узла в сборе. Это позволит исключить возможность появления при монтаже подшипника таких дефектов как: перекос, натяг и др.

Анализ дефектности подшипников буксовых узлов колесных пар в сборе проводился в соответствии со стандартом ISO: оценочных норм интенсивности вибрации, определение пределов зон установки предупредительной сигнализации и методом эталонного подшипника. Измерения проводились с помощью диагностического комплекса на базе СВЧ-ВП. Он позволяет с высокой достоверностью определять техническое состояние подшипников качения буксовых узлов без снятия с колесной пары, а также документировать результаты диагностики в виде «Протокола оценки технического состояния подшипников» с рекомендациями по дальнейшей эксплуатации, сохранять и передавать информацию в систему мониторинга.

Динамические испытания буксовых узлов проводились на приводной установке СКБУ-01 (стенда контроля буксовых узлов), применяемой для ревизии колесных пар при деповском ремонте.

На основе результатов, содержащихся в «Протоколах оценки технического состояния подшипника» составлена таблица оценки дефектности первого (1) и второго (2) подшипников буксового узла.

Номер буксового узла (условно)	Подшипники	
	1	2
47	2.42 (годен)	1.59 (годен)
24	3.17 (годен)	5.76 (огр. годен)
79	4.95 (огр. годен)	4.25 (огр. годен)
91	2.07 (годен)	7.39 (огр. годен)
82	7.17 (огр. годен)	9.29 (не годен)
07	4.95 (огр. годен)	11.05 (не годен)
16	17.35 (не годен)	19.14 (не годен)

Анализ приведенных в таблице данных по каждому из двух подшипников буксового узла выявил:

- буксовой узел под номером 47 допускается к длительной эксплуатации;
- ограниченно годными к эксплуатации оказались три буксовых узла (79, 91 и 24);
- неприемлемы для эксплуатации – три (82, 07 и 16).

Обращает на себя внимание большая разница величин дефектности между двумя подшипниками, необоснованно смонтированными в одном буксовом узле (например 91, а также 07 – см. таблицу).

Кроме того, из приведенной серии измерений (по семи буксовым узлам) следует вывод о необходимости подбора и установки подшипников высокого качества в каждый буксовый узел.

Из изложенного материала следуют выводы о необходимости введения:

- виброконтроля подшипников перед установкой в буксовый узел;
- подбора комплекта подшипников в каждый буксовый узел (по результатам измерений);
- виброакустического контроля буксы в сборе (после установки ее на колесную пару);
- безразборной вибродиагностики буксовых узлов, поступивших на ремонт.

Следует полагать, что рассмотренный выше новый сверхвысокочастотный бесконтактный метод позволяет создать гибкую систему диагностики, направленную на повышение эффективности контроля технологий и качества ремонта буксовых узлов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин А.А. Радиоволновый бесконтактный сверхвысокочастотный вибропреобразователь перемещений / А.А. Никитин, В.А. Засорин // Тяжелое машиностроение. 2001. № 9. С. 5-6.

**Никитин Анатолий Александрович** –

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная физика» Саратовского государственного технического университета

**Дробязко Сергей Витальевич** –

заместитель главного конструктора ОАО «Саратовский подшипниковый завод»

УДК 621.9.015:629.12.002

**Б.С. Орлов, Н.В. Ермольчева**

### **К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНО РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ДИСКРЕТНОМ ВИБРАЦИОННОМ РЕЗАНИИ**

*Рассматривается математическая модель процесса образования частично регулярного микрорельефа поверхности предварительно обработанных цилиндри-*

ческих поверхностей деталей методом дискретного вибрационного резания. Получены формулы для оценки геометрических характеристик качества поверхности в зависимости от режимов обработки и других технологических факторов.

**B.S. Orlov, N.V. Ermolcheva**

## TO QUESTION OF THE CALCULATION PARAMETER PARTLY REGULAR MICRORELIEF SURFACES OF THE DETAILS UNDER DISCRETE VIBRATORY CUTTING

*It is considered mathematical model of the process of the formation partly regular microrelief surfaces beforehand processed cylindrical surfaces of the details by method of the discrete vibratory cutting. Formulas are received for estimation of the geometric features quality to surfaces depending on mode of the processing and other technological factor.*

Известно, что технологический микрорельеф поверхностей деталей оказывает весьма важное влияние на различные эксплуатационные характеристики деталей приборов и машин, в том числе на прирабатываемость, трение и износостойкость трущихся пар, плавность хода, герметичность, пылеудаляемость и другие. Поэтому важнейшей проблемой в области качества поверхности является изыскание и исследование методов обработки деталей, обеспечивающих возможность образования на поверхности деталей регулярных, тонко управляемых, аналитически рассчитываемых и легко образуемых и контролируемых микрорельефов.

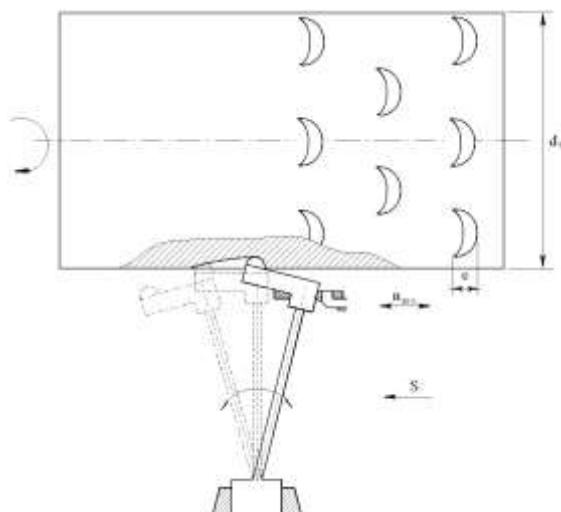


Рис. 1. Схема обработки дискретным вибрационным резанием

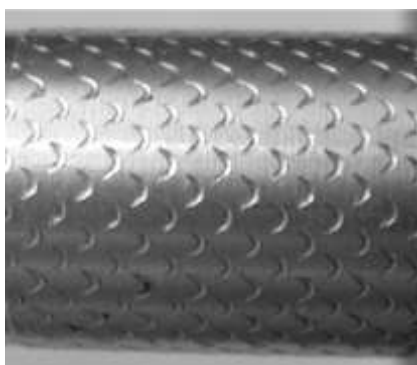


Рис. 2. Поверхность детали с частично регулярным микрорельефом

Одним из методов образования частично регулярных микрорельефов (ЧРМР) на поверхностях деталей тел вращения относится дискретное вибрационное резание (ДВР), осуществляемое специальным устройством [3], которое позволяет резцу, помимо продольной подачи, получать дополнительно возвратно-качательное движение, при котором он половину периода не соприкасается с обрабатываемой поверхностью (рис. 1). При этом на поверхности детали создаются дискретно расположенные серповидные микрорельефы (рис. 2), улучшающие такие эксплуатационные свойства деталей, например, контртела (штока или цилиндра), работающего в паре с резиновым элементом гидроуплотнительного узла, как гидроплотность и износостойкость за счет устранения каналов сквозных утечек смазки, а также образования множества гидродинамических клинов, при которых режим трения приближается к гидродинамическому.

Варьируя режимом обработки и геометрическими параметрами инструмента при ДВР, можно формировать ЧРМР с требуемой глубиной  $h$  регулярно расположенных углублений и относительной площадью поверхности  $F_k$ , занимаемой углублениями.

Для расчета стандартизованного параметра ЧРМР, каковым является относительная площадь поверхности, занимаемой микрорельефом –  $F_k$  (параметр по ГОСТ 244773-81) в зависимости от режимов обработки была принята математическая модель, при которой рассматривается вдавливание тора в поверхность.

Относительная площадь поверхности ЧРМР рассчитывается по формуле [4]:

$$F_k = \frac{if}{\pi d_3 S} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где  $S$  – продольная подача инструмента;  $d_3$  – диаметр обрабатываемой поверхности;  $i = \frac{n_{дв.х}}{n_3}$  – число циклов осцилляции резца за один оборот заготовки;  $f$  – площадь микролунки за период осцилляции резца.

В результате расчетов была получена формула площади микролунки за период осцилляции резца при ДВР:

$$f = \frac{2he}{k} + \frac{\pi eh}{6k} + \frac{\sqrt{2}\pi eh}{3k\sqrt{1+0,5k^2}} + \frac{\sqrt{2}\pi h^2 k^3}{12(1+0,5k^2)^2} - \frac{\pi k h^2}{6} , \quad (2)$$

где  $h$  – глубина канавки ЧРМР;  $k = \frac{2ei}{d_3}$  – коэффициент;  $e$  – амплитуда осцилляции.

На основе полученных зависимостей параметров ЧРМР от технологических факторов приведены экспериментальные данные влияния их на эксплуатационные характеристики поверхностей деталей.

Практическая проверка метода ДВР осуществлялась на коллекторных узлах микродвигателей типа 2657WO12CR...DL 1006 ( $U = 12V$ ,  $n = 5152$  об/мин) на фирме «Faulhaber» (Германия) в течение 472 часов. На рабочих поверхностях коллекторных пластин был нанесен методом дискретного вибрационного резания частично регулярный микрорельеф в виде не касающихся микролунок глубиной 15 мкм и относительной площадью  $F_k = 30\%$ . Износостойкость щеток приведена на рис. 3.

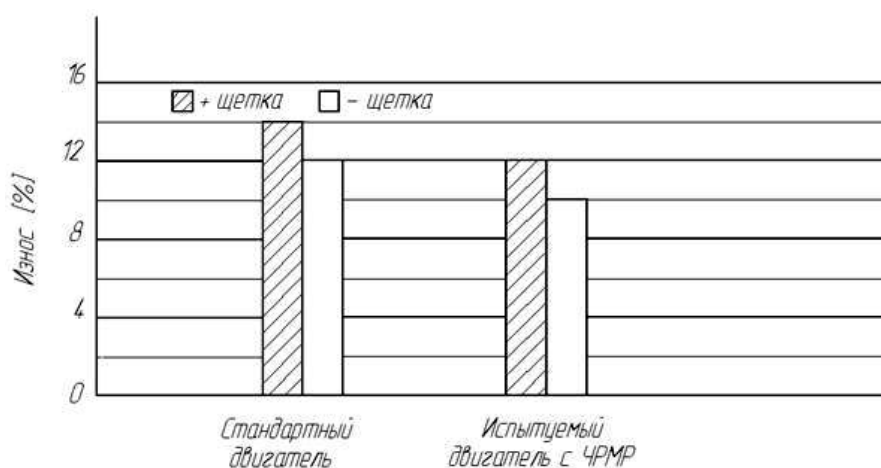


Рис. 3. Гистограмма износа щеток для ДВР

Из сравнительных данных экспериментальных исследований (рис. 3) следует, что износ щеток микродвигателей, обработанных дискретным вибрационным резанием, существенно ниже, чем у изделий, изготовленных по заводской технологии.

Результаты испытаний свидетельствуют о целесообразности создания на поверхностях коллекторов микродвигателей ЧРМР методом дискретного вибрационного резания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов Б.С. Технологические методы оптимизации качества поверхности деталей трения / Б.С. Орлов, В.И. Орлов, А.А. Скрипкин // Авиационная промышленность. 2006. № 1. С. 25-27.
2. А.с. 1232491. Способ образования регулярного микрорельефа / Б.С. Орлов, А.Д. Пустовойтов, В.И. Солдатов. Б.И. № 19. 1986.
3. Патент на полезную модель № 71813 Российская Федерация. Устройство для вибрационной обработки поверхностей / Б.С. Орлов, В.И. Орлов, Д.В. Черепанов, А.А. Скрипкин. Опубл. 20.11.2008. Бюл. № 32.

4. Шнейдер Ю.Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства / Ю.Г. Шнейдер. Л.: Машиностроение, 1972. 240 с.

**Орлов Борис Степанович** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение»  
Саратовского государственного технического университета

**Ермольчева Надежда Викторовна** –

студентка Саратовского государственного технического университета

УДК 621.9

**В.В. Погораздов, В.О. Горбачёв**

### КОМПЬЮТЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЦЕССА РАДИАЛЬНОГО ЗАТЫЛОВАНИЯ ФАСОННЫХ ФРЕЗ ШЛИФОВАЛЬНЫМ КРУГОМ

*Показано как рассчитывается диаметр шлифовального круга для затылования дисковой фрезы без интерференции с последующим зубом; приведён пример расчёта при помощи пакета MathCad.*

**V.V. Pogorazdov, V.O. Gorbachev**

### COMPUTER SUPPORT PROCESS OF CREATING THE BACK SURFACE GRINDING WHEEL SHAPED CUTTERS

*Shown as calculated diameter of the grinding wheel to create the contoured back surface of the disk cutter without interference, is an example of calculation using the program MathCad.*

Дисковые фасонные фрезы в ряде случаев после термической обработки подвергаются затылованию [1] на специальных станках шлифовальными кругами (рис. 1). Хорошо известно и то, что абразивное затылование существенно увеличивает точность режущих кромок фрезы и её стойкость.

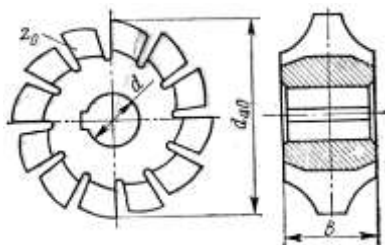


Рис. 1. Дисковая фреза и её затылование

При подготовке данной операции приходится решать две противоречивые задачи: максимально увеличивать активную часть зуба фрезы и повышать режущие свойства шлифовального круга [2, 3]. Вполне очевидно, что численное значение данных критериев при прочих равных условиях зависит от диаметра шлифовального круга, точное определение которого возможно только на основе строгих расчётов. Пренебрежение этим обстоятельством вполне может привести к несанкциониро-

ваным столкновениям (интерференции) шлифовального круга с зубом, следующим за затылуемым, или к сокращению шлифованного участка на зубе. Кроме того, если следовать методу проб и ошибок или приближённым графическим построениям, значительно повышается трудоёмкость подготовки данной операции при снижении её точности. Ниже будет показано одно из строгих решений этих задач на основе авторского метода и алгоритмов с использованием современной вычислительной техники.

Процесс затылования фрезы будем представлять моделью (рис. 2), состоящей из двух правых ортогональных декартовых систем координат  $S_1(X_1, Y_1)$  и  $S_2(X_2, Y_2)$ .

Система  $S_2(X_2, Y_2)$  считается в модели условно неподвижной и неизменно связанной с затылуемой фрезой. Начало системы  $S_2$  совпадает с осью фрезы. Система  $S_1(X_1, Y_1)$  связывается со шлифовальным кругом, который в модели совершает два равномерных движения: вращение вокруг начала неподвижной системы и поступательное перемещение от периферии к центру фрезы (началу системы  $S_2$ ).

Вращение фрезы в модели отражает независимый угловой параметр  $\psi$ , а радиальное перемещение задаётся параметром  $P$ , величина которого зависит от принятого заднего угла на вершинной кромке фрезы  $\alpha_0$ . Формула для определения параметра  $P$  будет приведена ниже. Вполне ясно и то, что начало системы  $S_2$  будет описывать в  $S_1$  архимедову спираль с параметром  $P$ . Вращение шлифовального круга со скоростью резания, не влияющее на исследуемый аспект процесса затылования, в модели не представлено.

Без нарушения общности возможность интерференции двух тел вращения можно исследовать, рассматривая только две окружности, одна из которых будет представлять фрезу, а вторая шлифовальный круг. Таким образом, без ущерба для точности решения задачи в целом она сводится к плоской задаче.

Фрезу удобнее в модели представлять окружностью наружного радиуса  $R_f$  (см. рис. 2). На нём задаётся угловой зубцовый шаг фрезы  $t_z = 2\pi R_f / z$  и определяется соответствующий ему центральный угол  $\varepsilon = 2\pi/z$ , который нам потребуется в дальнейшем. Это два важных параметра определяют вместе с искомым радиусом круга геометрическую ситуацию при затыловании.

Параметрические уравнения окружности наружного радиуса фрезы  $R_f$  на основании рис. 3 можно записать в виде столбцевой матрицы с параметрическими элементами:

$$R_2 = \begin{Bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_f \cdot \sin \vartheta_\phi \\ R_f \cdot \cos \vartheta_\phi \\ 1 \end{Bmatrix}. \quad (1)$$

Символом  $\vartheta_\phi$  в выражениях (1) обозначен угловой параметр окружности фрезы, начало для отсчёта которого лежит на оси  $Y_2$ , а положительное направление совпадает с вращением часовой стрелки.

Окружность диаметра шлифовального круга  $R_k$ , профилирующего вершинную кромку фрезы, аналогичным образом описывается в системе  $S_1$  столбцевой матрицей с параметром  $\vartheta_k$ :

$$R_1 = \begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_k \cdot \sin \vartheta_k \\ -R_k \cdot \cos \vartheta_k \\ 1 \end{Bmatrix}. \quad (2)$$

Для аналитического отображения движения системы  $S_1$  относительно системы  $S_2$  достаточно «переписать» выражения (1) в систему  $S_2$ . Делается это в подобных случаях с помощью векторно-матричного преобразования [3]:

$$R_2 = M_{21} \cdot R_1. \quad (3)$$

Здесь  $R_1$  обозначает текущий радиус-вектор точки на окружности круга в системе  $S_1$ , а  $R_2$  текущий радиус-вектор той же точки в системе  $S_2$ . Матрица второго порядка  $M_{21}$  в выражении (3) содержит на основании рис. 3 такие элементы:

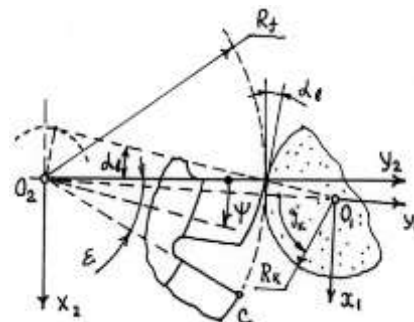


Рис. 2. Координатная модель затылования



$$M_{21} = \begin{vmatrix} \cos(\Delta + \psi) & \sin(\Delta + \psi) & A(\psi) \cdot \sin(\Delta + \psi) \\ -\sin(\Delta + \psi) & \cos(\Delta + \psi) & A(\psi) \cdot \cos(\Delta + \psi) \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Вернёмся к обсуждению того, как записать выражение для радиус-вектора  $A(\psi)$ , который входит в третий столбец матрицы (4) и зависит от параметра  $\psi$ . Формируется это выражение с учётом следующих факторов: величины заднего угла на вершинной кромке фрезы  $\alpha_s$  и искомого радиуса шлифовального круга  $R_k$ .

Запишем сначала формулу для параметра  $P$  архимедовой спирали на вершинной поверхности зуба фрезы  $P = R_f \cdot \psi \cdot \tan(\alpha_s)$ . После этого становится понятной и сама формула для радиус-вектора  $A(\psi)$ , которую можно преобразовать к виду

$$A(\psi) = \left[ (R_f \cdot \cos \alpha_b + R_k)^2 + (R_f \cdot \sin \alpha_b)^2 \right]^{0.5} - P. \quad (5)$$

Раскрывая с учётом (4) выражение (3), получаем координаты текущей точки на окружности круга в системе  $S_2$ :

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= R_k \cdot \sin(\vartheta_k - \Delta - \Psi) + A(\Psi) \cdot \sin(\Delta + \Psi) \\ Y_2 &= -R_k \cdot \cos(\vartheta_k - \Delta - \Psi) + A(\Psi) \cdot \cos(\Delta + \Psi) \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Аналитическим эквивалентом столкновения круга с фрезой при затыловании является совместность уравнений окружности круга (6) и окружности фрезы (1).

После приравнивания левых и правых частей уравнений (6) и (1) получаем систему двух уравнений:

$$\left. \begin{aligned} f_1(R_k, \vartheta_k) &= R_f \cdot \sin \vartheta_k - R_k \cdot \sin(\vartheta_k - \Delta - \Psi) - A(\Psi) \cdot \sin(\Delta + \Psi) = 0 \\ f_2(R_k, \vartheta_k) &= R_f \cdot \cos \vartheta_k + R_k \cdot \cos(\vartheta_k - \Delta - \Psi) - A(\Psi) \cdot \cos(\Delta + \Psi) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Точка наиболее вероятного столкновения круга с фрезой  $C$  (см. рис. 2) лежит на вершине следующего за затылуемым зубом и имеет в системе  $S_2$  известные полярные координаты:  $R_f$ ,  $\varepsilon = 2\pi/z$ . Задаваясь углом  $\psi$ , который определяет величину «обязательного» абразивного затылования, делаем систему (7) замкнутой относительно неизвестных  $R_k$ ,  $\vartheta_k$ .

Теперь остаётся только решить эту систему и определить искомое значение радиуса шлифовального круга  $R_k$ . Решение можно упростить, преобразовав систему к одному трансцендентному уравнению относительно искомого радиуса  $R_k$ .

В заключение статьи покажем пример расчёта радиуса шлифовального круга для затылования фасонной дисковой фрезы, профилирующей винтовые канавки специальных спиральных свёрл (рис. 3).

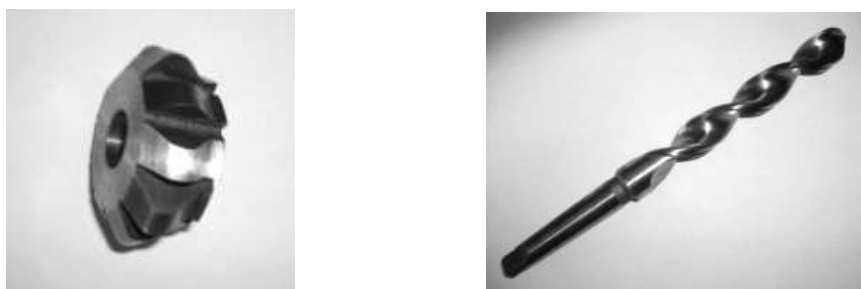


Рис. 3. Дисковая фреза для спирального сверла

Конструктивные и геометрические параметры дисковой фасонной фрезы имели следующие значения: наружный радиус –  $R_f = 38$  мм; число зубьев –  $z = 10$ ; задний угол при вершине –  $\alpha_s = 12$  абразивного затылования  $\psi$  был принят равным  $18^\circ$ .

Алгоритм решения данной задачи был реализован в виде программы на языке MathCad [4]. Ниже приведены фрагменты листинга программы.

Фрагмент программы для решения системы из двух трансцендентных уравнений (7) приведён в листинге № 1.

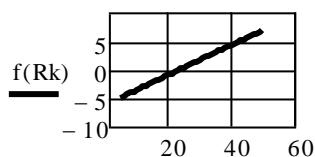
$$\begin{aligned}
 s1_{xxxx} &:= Rf \cdot \sin(\varepsilon) & s2_{xxxx} &:= Rf \cdot \cos(\alpha) & s3_{xxxx} &:= Rf \cdot \cos(\varepsilon) & s4_{xxxx} &:= Rf \cdot \sin(\alpha) & s6_{xxxx} &:= Rf \cdot \Psi \cdot \tan(\alpha) \\
 f1_{xxxx}(Rk, v) &:= s1 - Rk \cdot \sin \left[ v - \operatorname{atan} \left[ \frac{s4}{(s2 + Rk)} \right] - \Psi \right] - \left[ s \cdot \left[ (s2 + Rk)^2 + (s4)^2 \right]^{0.5} - s6 \right] \cdot \sin \left[ \operatorname{atan} \left[ \frac{s4}{(s2 + Rk)} \right] + \Psi \right] \\
 f2_{xxxx}(Rk, v) &:= s3 + Rk \cdot \cos \left[ v - \operatorname{atan} \left[ \frac{s4}{(s2 + Rk)} \right] - \Psi \right] - \left[ s \cdot \left[ (s2 + Rk)^2 + (s4)^2 \right]^{0.5} - s6 \right] \cdot \cos \left[ \operatorname{atan} \left[ \frac{s4}{(s2 + Rk)} \right] + \Psi \right] \\
 \text{Given} & & \text{Начальные значения} & & Rk_{xxxx} &:= 3C & v_{xxxx} &:= 0.1 & \text{Вектор решения} \\
 f1(Rk, v) = C & & f2(Rk, v) = C & & v &:= \operatorname{Find}(Rk, v) & & & v = \begin{pmatrix} 24.763 \\ 0.376 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Листинг № 1

Если исключить из системы (7) независимую переменную  $v$ , то радиус шлифовального круга можно получить из трансцендентного уравнения, показанного на листинге № 2.

Решается это уравнение численно после его графического анализа с использованием ранжированной переменной  $R_k$ .

$$\begin{aligned}
 f_{xxxx}(Rk) &:= s3 + Rk \cdot \left[ 1 - \left[ s1 - \left[ \left[ (s2 + Rk)^2 + s4^2 \right]^{0.5} - s6 \right] \cdot \sin \left[ \operatorname{atan} \left[ \frac{s4}{(s2 + Rk)} \right] + \Psi \right] \cdot Rk^{-1} \right]^2 \right]^{0.5} - \left[ \left[ (s2 + Rk)^2 + s4^2 \right]^{0.5} - s6 \right] \cdot \cos \left[ \operatorname{atan} \left[ \frac{s4}{(s2 + Rk)} \right] + \Psi \right] \\
 Rk_{xxxx} &:= 5 \dots 5C
 \end{aligned}$$



Нулевое приближение  $Rk := 3C$

Given

$$\begin{aligned}
 s3 + Rk \cdot \left[ 1 - \left[ s1 - \left[ \left[ (s2 + Rk)^2 + s4^2 \right]^{0.5} - s6 \right] \cdot \sin \left[ \operatorname{atan} \left[ \frac{s4}{(s2 + Rk)} \right] + \Psi \right] \cdot Rk^{-1} \right]^2 \right]^{0.5} - \left[ \left[ (s2 + Rk)^2 + s4^2 \right]^{0.5} - s6 \right] \cdot \cos \left[ \operatorname{atan} \left[ \frac{s4}{(s2 + Rk)} \right] + \Psi \right] = 0 \\
 \operatorname{Find}(Rk) = 23.745 & \qquad \text{Решение}
 \end{aligned}$$

Листинг № 2

Вся программа оформлена в виде отдельного файла. Она весьма лаконична, хорошо прокомментирована и может использоваться в системах автоматизированного проектирования дисковых фасонных затылованных фрез.

Авторы сочтут свою задачу выполненной, если изложенные в статье результаты хоть в малой степени будут способствовать развитию теории автоматизированного проектирования режущих инструментов, которая сейчас необходима учёным, аспирантам и практикам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов: учеб. пособие для вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / Г.Г. Иноземцев. М.: Машиностроение, 1984. 272 с.
2. Овсянников В.С. Проектирование червячных зуборезных фрез: метод. указ. к курс. работе / В.С. Овсянников, М.А. Царенко. Саратов: СГТУ, 1990.
3. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин. М.: Наука, 1968. 584 с.
4. Кирьянов Д.В. MathCad 13 / Д.В. Кирьянов. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 608 с.

**Погораздов Валерий Васильевич** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета

**Горбачёв Валерий Олегович** –

студент, лаборант кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета

В.В. Погораздов, В.О. Горбачёв

### О ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩИХ КРОМОК И ПРОИЗВОДЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБОРЕЗНЫХ ГОЛОВОК СО СТЕРЖНЕВЫМИ РЕЗЦАМИ

*Дифференциально и численно исследуется кривизна осевого сечения гиперболоидной производящей поверхности зуборезной головки. Актуально для профильной локализации зоны касания в конических и гипоидных передачах с равновысокими круговыми зубьями. Результаты могут найти применение в системах синтеза и анализа зацепления данных передач, а также расчёта оптимальных наладок зуборезных станков.*

V.V. Pogorazdov, V.O. Gorbachev

### THE GEOMETRY OF CUTTING EDGES AND PRODUCING SURFACES GEAR HEADS OF BAR CUTTER

*Differential and numerically investigate the curvature of the axial cross section of the generating surface of gear-cutting heads. News for the head of localization in the conical zone of tangency and hypoid gears with circular teeth of equal height. The results can be used in systems synthesis and analysis of data transmission links, as well as calculating optimum adjustments gear cutting machines.*

В базовых схемах профилирования круговых зубьев конических и гипоидных передач производящие поверхности (ПП) зуборезных головок в первом приближении рассматриваются как конические (рис. 1 а.) Они образуются при вращении головок со скоростью резания прямолинейными кромками наружных и внутренних резцов [1]. Характеристики зацепления передачи формируются геометрией производящих поверхностей инструмента, наладочными параметрами зуборезных станков и законами их формообразующих движений [2].

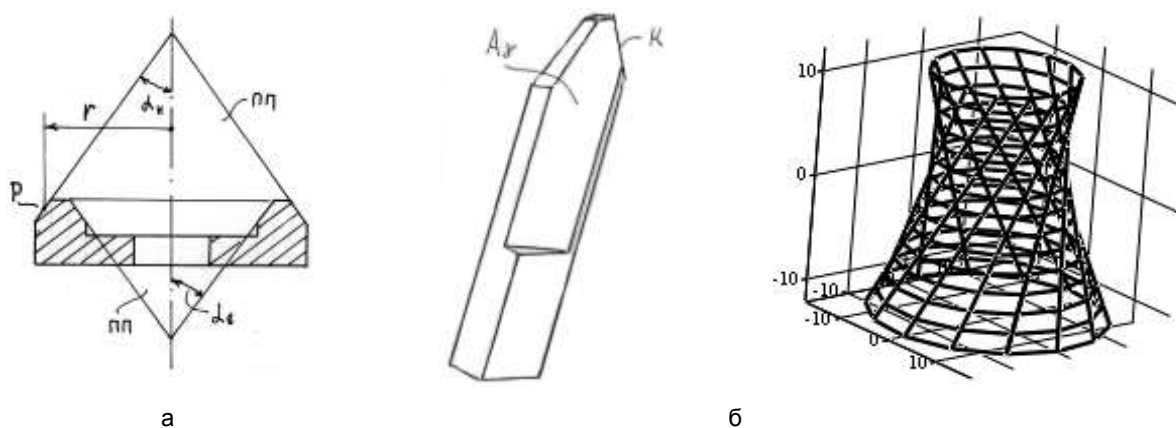


Рис. 1. Зуборезная головка, резец и производящая поверхность

Головки со стержневыми резцами (рис. 1 б) системы RSR, помимо высоких режущих свойств, дают возможность модифицировать коническую форму ПП с целью воздействия на зону касания зубьев и характеристики зацепления в передаче. Делать это можно вынесением режущих кромок из осевой плоскости головки и их наклоном в расчётной точке  $P$  к оси головки на угол  $\lambda$ . Наклон осуществляется в касательной к исходной конической ПП плоскости  $P_k$  (см. рис. 2).

Вполне очевидно и то, что в этом случае кромка при вращении будет описывать не коническую поверхность, а квазигиперboloидную. Эта поверхность касается исходной конической поверх-

ности по окружности расчётного сечения ПП (рис. 1 в)<sup>1</sup>. Осевое сечение «новой» ПП будет вогнутым с радиусом кривизны  $\rho$  в расчётной точке Р. Такая модификация ПП неизбежно приведёт к «лёгкому» фланкированию нарезаемого зуба и его подрезу. Другими словами появляется дополнительный тонко контролируемый параметр воздействия на профильную локализацию зоны касания в передаче, весьма желательную и труднодостижимую, например, для зацепления конических колёс с круговыми равновысокими зубьями [3].

Оставляя в стороне вопрос о том, как геометрически строго обеспечивается необходимое положение режущей кромки резца RSR в системе корпуса головки с учётом геометрических параметров режущего лезвия и заточки резцов вне корпуса с последующей сборкой [4], рассмотрим только те аспекты, которые имеют отношение к геометрии осевого сечения квазигиперboloидной ПП. Точнее говоря, ниже пойдёт речь о том, как подготовить данные по профилю квазигиперboloидной ПП, чтобы они могли быть легко конвертированы в расчётные системы для синтеза зацеплений и расчёта оптимальных наладок зубообрабатывающих станков (таких как, например, ЭКСПЕРТ-МОССТАНКИН, ВОЛГА-СКБЗС и др.).

Для этого введём в рассмотрение схему режущей кромки наружного резца, профилирующего вогнутую поверхность кругового зуба колеса (рис. 2).

Зуборезная головка представляется системой координат X, Y, Z. Ось Y системы совпадает с осью головки, а ортогональная ей ось X проходит через расчётную точку Р на производящей поверхности головки. Текущий радиус сечения  $y_i$  ПП на основании (рис. 2) определяется очевидным выражением:

$$R_i = \left[ (r - y_i \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2 + \left( \frac{y_i \cdot \operatorname{tg} \lambda}{\cos \alpha} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

Здесь  $r$  – обозначает расчётный радиус головки;  $\alpha$  – профильный угол ПП, а  $\lambda$  – дополнительный угол наклона кромки к оси головки для образования квазигиперboloида. Этой формулы достаточно для численного анализа профиля осевого сечения ПП, который будет зависеть от конструктивных и геометрических параметров. На рис. 3 показаны результаты анализа, проведённого в среде Mathcad [5] учётом смещения начала координат из точки О в точку Р и условной фиксации параметров:  $\alpha = 20^\circ$ ,  $r = 50$  мм,  $100$  мм,  $150$  мм;  $\lambda = 5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ .

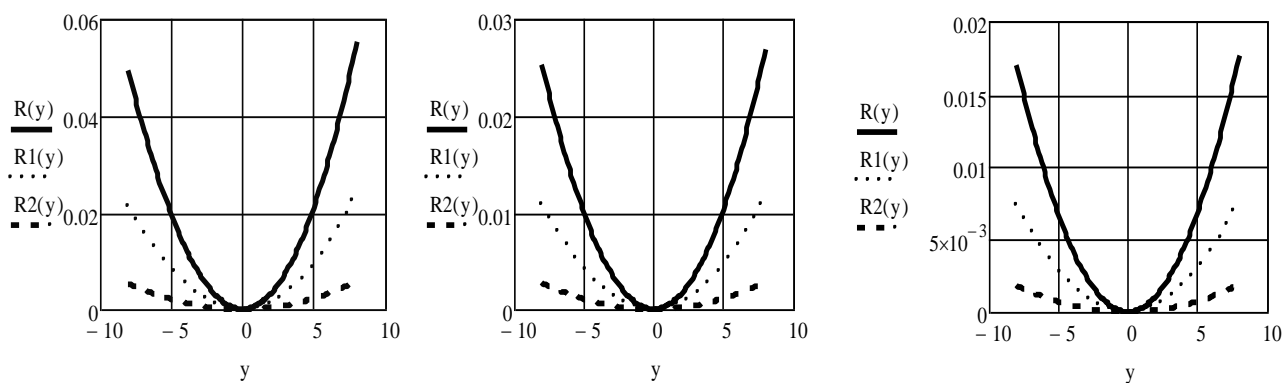


Рис. 3. Результаты численного анализа профиля осевого сечения ПП

Из графиков следует, что кривизна осевого сечения ПП при прочих равных условиях увеличивается с уменьшением расчётного радиуса  $r_0$  и увеличением дополнительного угла наклона кромки  $\lambda$ .

Вполне ясно то, что выражение (1) даёт возможность с любой наперёд заданной точностью определять радиус кривизны профиля в расчётной точке и координаты его начала в системе R, y.

Можно определить радиус кривизны профиля и дифференциальным методом по известной формуле:

<sup>1</sup> Поверхность смоделирована в среде Mathcad для утрирования кривизны на условных константах:  $r = 10$ ;  $\alpha = 20$ ;  $\lambda = 25$ .

$$\rho = \frac{[1 + R_{y=0}'^2]^{3/2}}{R_{y=0}''} . \quad (2)$$

Дифференцируя (1) по  $y_i$  и подставляя  $y_i = 0$ , получаем:

$$R_{y=0}' = -tg\alpha . \quad (3)$$

Выражение для второй производной по  $y_i$  в точке  $y_i = 0$  имеет вид

$$R_{y=0}'' = \frac{tg^2\lambda}{\cos^2\alpha \cdot r_0} . \quad (4)$$

Следовательно, формула для радиуса кривизны окончательно будет такой:

$$\rho = \frac{r_0}{tg^2\lambda \cdot \cos\alpha} . \quad (5)$$

В заключение сделаем одно важное замечание. Расчёты показывают, что альтернативные методы данной модификации профиля осевого сечения ПП практически отсутствуют, так как представить себе механизм правки для фасонной обработки кромки резца с полутораметровым ( $\rho \approx 1500$  мм) радиусом кривизны невозможно.

Результаты проделанной работы протестированы на моделях формообразования круговых зубьев конических колёс и практическим использованием этих результатов в условиях Чебоксарского завода промышленных тракторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вильдгабер Э. Основы зацепления конических и гипоидных передач / Э. Вильдгабер. М.: Машгиз, 1948. 176 с.
2. Лопато Г.А. Конические и гипоидные передачи с круговыми зубьями: справ. пособие / Г.А. Лопато, Н.Ф. Кабатов, М.Г. Сегаль. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1977. 427 с.
3. Погораздов В.В. О локализации контакта по высоте зуба в конических и гипоидных передачах с круговыми равновысокими зубьями путём модификации геометрии производящей поверхности инструмента / В.В. Погораздов // Исследования зубообрабатывающих станков и инструментов: сб. тр. Саратов, 1981. С. 52-57.
4. Погораздов В.В. О взаимосвязи конструктивных и геометрических параметров зуборезных головок с усечёнными стержневыми резцами / В.В. Погораздов // Исследования зубообрабатывающих станков и инструментов: сб. тр. Саратов, 1983. С. 29-34.
5. Кирьянов Д.В. Mathcad 13 / Д.В. Кирьянов. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 608 с.

**Погораздов Валерий Васильевич** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета

**Горбачёв Валерий Олегович** –

студент, лаборант кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета

УДК 621. 81: 539.4

**А.О. Подвойский, В.Е. Боровских**

#### **ПРАВИЛО ИСЧЕРПАНИЯ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ОБЪЕКТА В УСЛОВИЯХ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ**

*Рассматривается стохастический процесс деградации предела выносливости объекта, порожденный в общем случае нестационарным стохастическим*

*процессом с логарифмически-нормально распределенными компонентами. Предлагается инвариантный относительно структуры случайного процесса вероятностный метод решения одной задачи теории управления ресурсом.*

**A.O. Podvoyskiy, V.E. Borovskikh**

**RULE OF OBJECT ENDURANCE LIMIT EXHAUSTION IN CONDITIONS OF STOCHASTIC VARIABILITY OF PRESSURE FIELD**

*Stochastic process of object limit endurance degradation, generated generally by non-stationary casual process with logarithmic-normally distributed components is considered. It is offered invariant concerning structure of stochastic process the probability method of the one problem decision of the management by resource theory.*

Несмотря на то, что проблемам теории прогнозирования ресурса посвящено значительное количество публикаций, задача оценки усталостной долговечности объекта при нерегулярном нагружении остается весьма актуальной и сегодня.

Существует несколько десятков методов прогнозирования ресурса при случайном нагружении, аналитический аппарат этих методов чрезвычайно разнообразен и позволяет учитывать довольно широкий спектр факторов, влияющих на способность объекта сопротивляться усталостному разрушению, однако в основе практически всех методов прогнозистики лежит гипотеза о стационарности свойств объекта, а между тем известно, что реальные тела представляют собой системы, свойства которых случайным или квазислучайным образом изменяются с течением времени.

Обычно предполагается, что по мере накопления усталостных повреждений наклонный участок кривой усталости поступательно смещается влево (предел выносливости не изменяется!); в действительности же изменяются все параметры кривой усталости: и абсцисса точки перегиба, и котангенс угла наклона, и предел выносливости [1].

В связи с этим известный интерес представляет решение задачи прогнозирования вероятностной оценки надежности конструкции по критерию многоциклового усталости при стохастическом нагружении в условиях монотонной деградации механических свойств объекта.

Перейдем к анализу стратегии поиска решения указанной задачи. Рассмотрим элементарную площадку в условиях сложного напряженного состояния в некоторой окрестности опасной точки конструкции. Предположим, что на основе априорной информации о статистических закономерностях нагруженности конструкций-аналогов определены вероятностные характеристики логнормального закона распределения, аппроксимирующего реальный закон распределения амплитуд деформаций  $\varepsilon_x(t)$ ,  $\varepsilon_y(t)$ ,  $\varepsilon_z(t)$ , представляющих собой стохастические функции времени, то есть случайные процессы.

Итак, зная составляющие регистрируемого в эксперименте трехмерного  $\varepsilon$ -процесса можно с помощью известных соотношений линейной теории упругости определить так называемые псевдонапряжения [1]

$$\begin{cases} \sigma_x(t) = E \cdot \varepsilon_x(t) \\ \sigma_y(t) = E \cdot \varepsilon_y(t) \\ \sigma_z(t) = E \cdot \varepsilon_z(t), \end{cases} \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости.

Тогда зависимость между напряжениями и деформациями примет вид [1]

$$\begin{cases} \sigma_x = \frac{1}{1-\mu^2} \cdot (\sigma_x + \mu \cdot \sigma_y) \\ \sigma_y = \frac{1}{1-\mu^2} \cdot (\sigma_y + \mu \cdot \sigma_x) \\ \tau = \frac{1}{2(1+\mu)} \cdot (2\sigma_z - \sigma_x - \sigma_y), \end{cases} \quad (2)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Расчетное напряжение можно определить следующим образом [1]

$$\sigma_{-1,\omega}(N') = k_a \cdot \sigma_{-1,0} \cdot \left( 1 - \frac{A}{(n+1) \cdot \sigma_B^n} \cdot \int_0^{N'} [\sigma(N)]^n dN \right)^{\zeta/(n+1)}, \quad (3)$$

где  $A, B, C$  – коэффициенты, зависящие от углов наклона элементарной площадки.

Расположение опасной площадки и расчетное усталостное повреждение определяются из условия максимума накопленного в ней усталостного повреждения [1]

$$\omega = \max_{\alpha, \beta, \gamma} [\omega(\alpha), \omega(\beta), \omega(\gamma)],$$

а углы определяются из уравнений

$$\frac{d\omega}{d\alpha} = \frac{d\omega}{d\beta} = \frac{d\omega}{d\gamma} = 0.$$

В первом приближении углы наклона площадки можно определить из условия максимума дисперсии расчетного процесса нагружения [1]

$$\frac{ds_\sigma}{d\alpha} = \frac{ds_\sigma}{d\beta} = \frac{ds_\sigma}{d\gamma} = 0, \quad (4)$$

где  $s_\sigma^2$  – дисперсия расчетного процесса  $\sigma_p$ .

Трехмерный случайный процесс  $\{\sigma_x(t), \sigma_y(t), \sigma_z(t)\}$  полностью характеризуется матрицей автокорреляционных и взаимных корреляционных функций [1]

$$\begin{bmatrix} k_x(\tau) & r_{xy}(\tau) & r_{xz}(\tau) \\ r_{yx}(\tau) & k_y(\tau) & r_{yz}(\tau) \\ r_{zx}(\tau) & r_{zy}(\tau) & k_z(\tau) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где  $k_x(\tau), k_y(\tau), k_z(\tau)$  – автокорреляционные функции стационарных случайных процессов (АКФ);  $r_{yx}(\tau), \dots, r_{zy}(\tau)$  – взаимные корреляционные функции стационарно связанных случайных процессов (ВКФ).

В случае нестационарного стохастического процесса матрица (5) заменяется матрицей составленной из АКФ и ВКФ, зависящих от текущего момента времени. АКФ и ВКФ нестационарного процесса могут быть определены по формуле [2]

$$k_{ij}(\tau, t) = A_i \{ [x_i(t) - A_i x_i(t)] \cdot [x_j(t) - A_j x_j(t)] \}, (i=1, \dots, n \wedge j=1, \dots, m), \quad (6)$$

где  $A_i$  – оператор текущего среднего;  $x_i(t)$  – реализация процесса.

На рис. 1 приведена выборочная функция расчетного  $\sigma_p(t)$  – процесса с логарифмически-нормально распределенными компонентами.

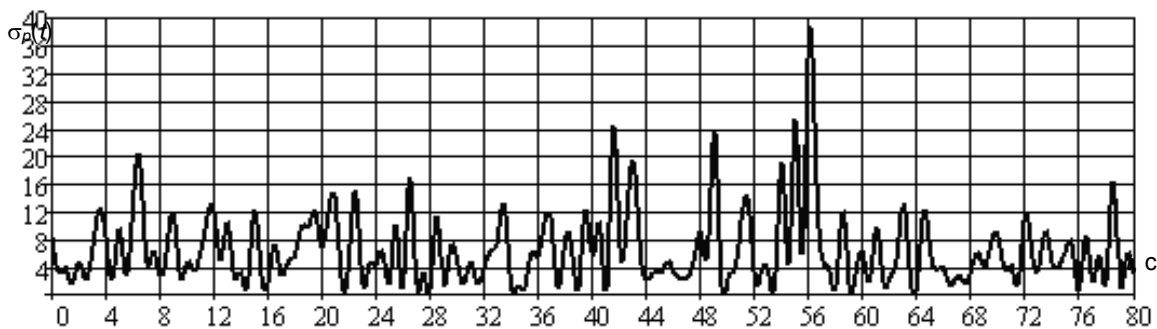


Рис. 1. Реализация  $\sigma_p(t)$

Явление деградации механических свойств объекта как результат исчерпания предела выносливости (ПВ) можно описать в первом приближении с помощью соотношения, полученного в предположении, что скорость исчерпания предела выносливости зависит от скорости накопления усталостных повреждений и априорного значения предела выносливости [1]:

$$\sigma_{-1,\omega} = \sigma_{-1,0} \cdot (1 - \omega)^\zeta, \quad (7)$$

где  $\sigma_{-1,\omega}$  – текущее значение предела выносливости;  $\sigma_{-1,0}$  – априорное значение предела выносливости;  $\zeta$  – постоянная материала.

И.Н. Сильвестров предложил соотношение, связывающее скалярную меру усталостных повреждений и процесс нагружения [3]

$$\omega(N') = 1 - \left( 1 - \frac{A}{(n+1) \cdot \sigma_B^n} \cdot \int_0^{N'} [\sigma(N)]^n dN \right)^{1/(n+1)}, \quad (0 \leq N' \leq N), \quad (8)$$

где  $N$  – число циклов;  $A, n$  – эмпирические постоянные;  $\sigma_B$  – временное сопротивление материала.

Возвратимся теперь к выборочной функции  $\sigma_p$  – процесса: согласно В.П. Когаеву амплитуды  $\sigma_{a_j} < k_a \cdot \sigma_{-1,0}$  (по опытным данным можно принять  $k_a = 0,5$ ) не оказывают влияния на процесс усталостного разрушения. Учитывая это обстоятельство, можно предположить, что вычит предел выносливости  $\Delta\sigma_{-1}^{(j)}$  (ВПВ) связан с энергией выброса  $w_j$  (ЭВ).

Подставив формулу (8) в соотношение (7) с учетом  $k_a$ , получим

$$\sigma_{-1,\omega}(N') = k_a \cdot \sigma_{-1,0} \cdot \left( 1 - \frac{A}{(n+1) \cdot \sigma_B^n} \cdot \int_0^{N'} [\sigma(N)]^n dN \right)^{\zeta/(n+1)}. \quad (9)$$

Тогда предел выносливости будет исчерпываться по правилу

$$\sigma_{-1,k} = \begin{cases} k_a \cdot \sigma_{-1,0} \cdot \left( 1 - \frac{A}{(n+1) \cdot \sigma_B^n} \cdot \int_{t_j}^{t_{j+1}} [\sigma(t)]^n dt \right)^{\zeta/(n+1)}, & w_j \geq w_{th} \\ k_a \cdot \sigma_{-1,0} \cdot \left( 1 - \frac{A}{(n+1) \cdot \sigma_B^n} \cdot \sum_{j=1+i\Delta}^3 \int_{t_j}^{t_{j+1}} [\sigma(t)]^n dt \right)^{\zeta/(n+1)}, & w_j < w_{th}, \end{cases} \quad (10)$$

где  $k$  – номер шага;  $w_{th}$  – пороговое значение ЭВ.

Что касается параметров  $A, n, \zeta, w_{th}$ , то их значения можно разыграть с помощью метода статистического моделирования (метода Монте-Карло).

Пусть известны плотности распределений  $f_i(\xi) = \{f(A), f(n), \dots\}$  параметров  $A, n, \zeta, w_{th}$ , тогда

$$F_i(\xi_r) = \int_{-\infty}^{\xi_r} f_i(\xi) d\xi = \vartheta_r, \Rightarrow \xi_r = \pi(\vartheta_r), \quad (r = 1, \dots, b),$$

где  $F_i(\xi_r)$  – интегральная функция распределения;  $\vartheta_r$  – случайная величина, равномерно распределенная в интервале (0; 1);  $\pi(\vartheta_r)$  – некоторая функция случайной величины  $\vartheta_r$ .

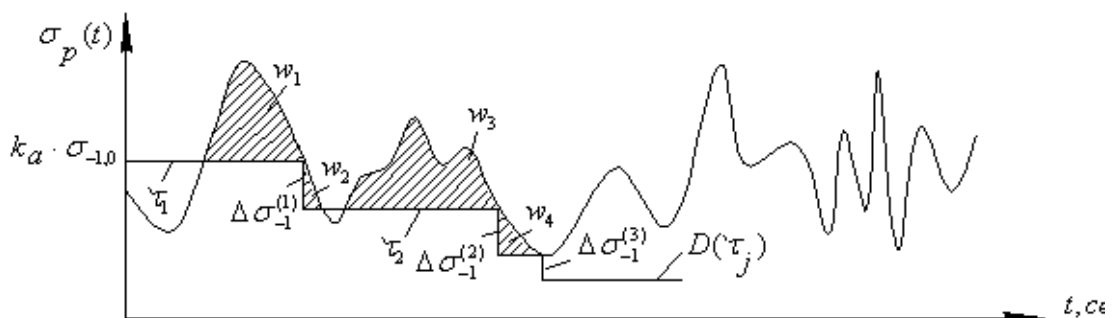


Рис. 2. К пояснению правила снижения предела выносливости

Согласно первой строке системы (10), если ЭВ превышает пороговое значение  $w_{th}$ , то ПВ снижается на величину  $\Delta\sigma_{-1}^{(k)} = \sigma_{-1,k} - \sigma_{-1,k-1}$ , если  $w_j$  не превышает  $w_{th}$ , то ПВ не снижается до момента окончания  $(j+1)$ -го выброса. Так, например,  $w_1$  превышает  $w_{th}$ , поэтому ПВ снижается мгновенно на величину  $\Delta\sigma_{-1}^{(1)}$ , а  $w_2$  не превышает, поэтому ПВ снижается только по окончании 2-го выброса.



Ступенчатый  $D(\tau_j)$ -процесс представляет собой сепарабельный, стохастически непрерывный случайный процесс с независимыми стационарными приращениями.

Очевидно, что длительность усталостного процесса разрушения определяется временем пребывания процесса  $D(\tau_j)$  в области допустимых значений, то есть в полосе  $[0; k_a \cdot \sigma_{-1,0}]$  (рис. 2).

Таким образом, задача сводится к определению времени достижения процессом  $D(\tau_j)$  нижней границы области допустимых значений.

Эту задачу можно решить методом условных функций надежности В.В. Болотина: процесс исчерпания ПВ обладает свойством монотонности, следовательно, функцию надежности (вероятность безотказной работы) можно определить по формуле [4]

$$P(t) = \int_0^{k_a \cdot \sigma_{-1,0}} f(D;t) dD, \quad (11)$$

где  $f(D;t)$  – плотность распределения  $D(\tau_j)$ .

По найденной функции надежности можно вычислить средний ресурс [4]

$$\langle T \rangle = \int_0^{+\infty} P(t) dt. \quad (12)$$

Если ординаты деградационного случайного процесса подчиняются закону Гаусса с нулевым математическим ожиданием и дисперсией  $(p-s)$ , то есть  $N(0, p-s)$ , то плотность вероятности  $D(\tau_j)$  можно определяется по формуле

$$f(D;t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot t}} \cdot \exp[-D^2(\tau)/2 \cdot t] \quad (13)$$

Тогда формула для вычисления среднего ресурса примет вид

$$\langle T \rangle = \int_0^{+\infty} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot t}} \cdot \int_0^{k_a \cdot \sigma_{-1,0}} \exp[-D^2(\tau)/2 \cdot t] dD \right\} dt. \quad (14)$$

**Выводы:** предлагаемый метод, очевидно, инвариантен относительно структуры случайного процесса (в том смысле, что позволяет обрабатывать как узкополосные, так и широкополосные, как стационарные, так и нестационарные случайные процессы). К тому же деградационный процесс описывается не в терминах теории процессов марковского типа, а в терминах теории случайных процессов с независимыми процессами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А.С. Соппротивление усталости и живучесть конструкций при случайных воздействиях / А.С. Гусев. М.: Машиностроение, 1989. 248 с.
2. Романенко А.Ф. Вопросы прикладного анализа случайных процессов / А.Ф. Романенко, Г.А. Сергеев. М.: Сов. радио, 1968. 255 с.
3. Сильвестров И.Н. Расчет ресурса и длительной прочности с использованием критерия повреждаемости / И.Н. Сильвестров // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2006. № 6. С. 116-118.
4. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. М.: Машиностроение, 1984. 312 с.

**Подвойский Александр Олегович** –

ассистент кафедры «Теория механизмов и детали машин»  
Саратовского государственного технического университета

**Боровских Валентин Ефимович** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Теория механизмов и детали машин»  
Саратовского государственного технического университета

И.В. Пряхин, О.Ю. Давиденко

### ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОДШИПНИКА ПРИ НАНЕСЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ ИХ СОВМЕСТНОЙ ДОРАБОТКИ В СОБРАННОМ ВИДЕ

*Рассмотрены особенности процессов контактного взаимодействия рабочих поверхностей колец и тел качения роликоподшипника при нанесении функционального покрытия в процессе доработки подшипника в собранном виде. Определены теоретические зависимости величин площадок контакта и величин сил, действующих в зоне контакта от режимных факторов процесса нанесения, в частности от технологического угла скрещивания осей вращения наружного и внутреннего колец.*

I.V. Pryahin, O.Y. Davidenko

### FEATURES OF CONTACT INTERACTION OF BEARING'S WORKING SURFACES DURING THE PLATING OF FUNCTIONAL COAT IN THEIR JOINT FINALIZATION IN BODILY

*The paper discusses the characteristics of the processes of contact interaction of the working surfaces of the rings and rolling bodies roller bearing during the application of functional coatings in the process of finalizing the bearing. Were has determined according to the theoretical values of the contact pads and the values of the forces acting on the contact zone from regime factors coating process, in particular from the technological angle crossing the axes of rotation of the outer and inner rings.*

Исследуемый процесс относится к методам повышения эксплуатационных свойств деталей машин посредством нанесения функционального покрытия в сочетании с упрочняющей обработкой давлением. В процессе нанесения покрытия создают перекося оси вращения обоймы, вращающей наружное кольцо, относительно оси вращения вала, вращающего внутреннее кольцо, и подают материал покрытия в зону обработки. В результате перекося возникает натяг системы, создающий благоприятные технологические условия в области контакта рабочих поверхностей. Вследствие натяга и наличия проскальзывания происходит пластическое деформирование частиц материала покрытия и схватывание с обрабатываемой поверхностью.

Эффективность применения технологического угла скрещивания в качестве режимного фактора обработки подтверждена исследованиями в области имитационных технологий подшипникового производства [1].

Рассмотрим силы, действующие в зоне контакта (рис. 1) на тело качения в момент проскальзывания. На рисунке представлено сечение плоскостью, перпендикулярной оси вращения ролика.

Силы  $F_e$  и  $F_{об}$  возникают вследствие действия крутящих моментов вала  $M_e$  вращающего внутреннее кольцо и обоймы  $M_{об}$  вращающего наружное кольцо. Они определяются следующим образом:

$$F_e = \frac{2M_e}{D_{вн}}; \quad F_{об} = \frac{2M_{об}}{D_n}, \quad (1)$$

где  $D_e$  – наружный диаметр внутреннего кольца,  $D_n$  – внутренний диаметр наружного кольца.

Момент, с которым будет вращаться ролик, определяется:

$$M_p = (F_e \pm F_{об}) D_p, \quad (2)$$

где  $D_p$  – диаметр ролика.

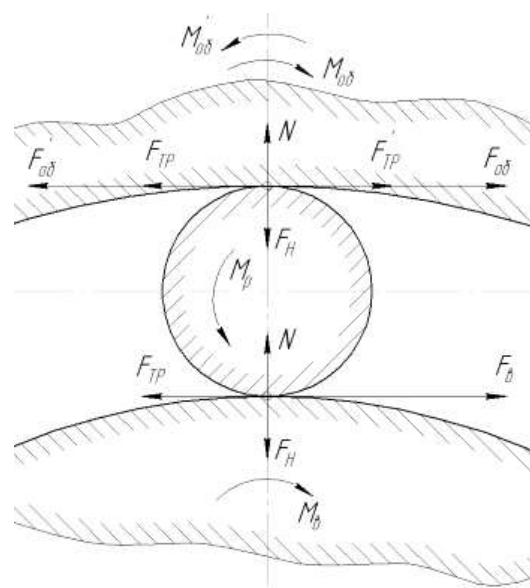


Рис. 1. Силы, действующие в зоне контакта

Знак «+» в выражении (2) будет использоваться при встречном вращении обоймы ( $F'_{об}, M'_{об}$ ) относительно вала, «-» при попутном ( $F_{об}, M_{об}$ ).

Справедливо отметить, что в точках контакта будут иметь место соотношения:

$$\begin{cases} F_{\epsilon} \pm F_{об} > F_{тр}; \\ F_{тр} = N\mu; \\ N = F_H, \end{cases} \quad (3)$$

где  $F_{тр}$  – сила трения;  $\mu$  – коэффициент трения;  $N$  – сила нормального сопротивления;  $F_H$  – сила возникающая вследствие натяга системы.

В рамках рассмотрения задачи по определению факторов формообразования и нанесения покрытия нам интересны сила трения  $F_{тр}$  и сила натяга  $F_H$ . Взаимосвязь  $F_{тр}$  и  $F_H$  очевидна из (3):

$$F_{тр} = F_H \mu. \quad (4)$$

Сила  $F_H$  зависит от технологического угла  $\alpha$  скрещивания осей вращения вала и обоймы. Для нахождения  $F_H$  рассмотрим статическую задачу, без учета моментов вращения  $M_{\epsilon}$  и  $M_{об}$  и касательных сил  $F_{\epsilon}$  и  $F_{об}$ .

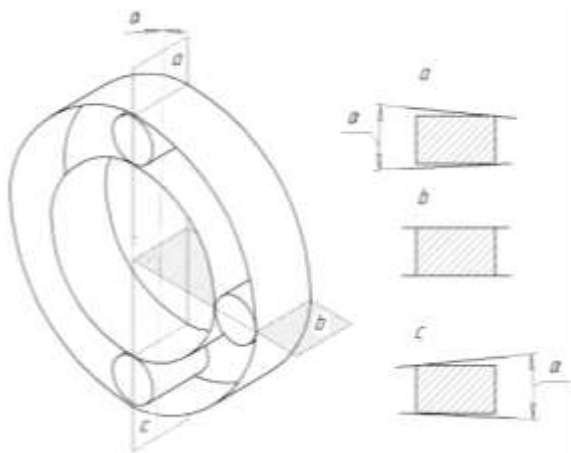


Рис. 2. Схема взаимного расположения ролика и поверхностей колец подшипника

В данном случае мы рассматриваем силу  $F_H$  действующую на ролик как одну из составляющих полной силы. Поскольку полная сила, возникающая вследствие натяга от перекоса осей под углом  $\alpha$ , будет распределяться по всем телам качения.

Действительно, имеет место зависимость  $F_H = f(\alpha)$ . Как видно из рис. 2, при движении ролика по рабочим поверхностям колец угол  $\alpha$  относительно ролика будет меняться. При нахождении ролика в позиции, зафиксированной плоскостью  $a$ , он будет максимальным  $\alpha = \alpha_{\max}$ . При движении к позиции, зафиксированной плоскостью  $b$ , будет уменьшаться до нуля  $\alpha = 0$ . После прохождения этой позиции он будет увеличиваться до максимального значения в плоскости  $c$ , где  $\alpha = \alpha_{\max}$ . При дальнейшем движении цикл повторится.

Из схемы на рис. 2 видно, что сила  $F_H$  натяга от перекоса осей возникает из-за наличия смещения поверхностей колец, которые «сжимают» ролик. Определить величину смещения  $\Delta d$  можно, решив геометрическую задачу:

$$\Delta d = \frac{l - r \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2} \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где  $l$  – длина ролика;  $r$  – радиус внутренней поверхности наружного кольца  $r = \frac{D_H}{2}$ .

Вследствие наличия радиального зазора  $G_r$  при малых значениях угла  $\alpha$  натяга не будет. Для его возникновения необходимо выполнение условия  $\Delta d > G_r$ . Для определения угла  $\alpha_G$ , необходимого для смещения на величину радиального зазора необходимо учесть смещение  $\Delta d$  во второй полуплоскости, увеличив его вдвое, поскольку рассмотренная геометрическая задача решается для второй полуплоскости аналогично первой:

$$G_r = \left( l - \frac{D_H}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha_G \right) \operatorname{tg} \alpha_G. \quad (6)$$

Для решения уравнения необходимо ввести условие

$$\alpha_G = 0 \text{ при } G_r = 0, \quad (7)$$

которое означает, что при отсутствии радиального зазора  $G_r$ , перекоса осей вращения колец на угол  $\alpha$ , необходимый для его преодоления тоже отсутствует.

Преобразуем (6), приняв во внимание условие (7):

$$\alpha_G = \arctg \left( \frac{l - \sqrt{l^2 - 2G_r D_H}}{D_H} \right). \quad (8)$$

На начальной стадии обработки материал покрытия равномерно распределён по рабочим поверхностям колец и роликов в виде порошка в связующей жидкости. Необходимо заметить, что некоторое свободное пространство между рабочими поверхностями, образуемое радиальным зазором, будет заполнено материалом покрытия, т.е. при  $\alpha < \alpha_G$  в зонах контакта будут возникать напряжения, связанные с усилием, необходимым для деформации гранул материала покрытия, и интересующую нас силу  $F_H$  следует рассчитывать, главным образом, исходя из свойств материала покрытия. В свою очередь, при  $\alpha < \alpha_G$  уже будут контактировать непосредственно рабочие поверхности. В этом случае определяющим фактором будут упругие напряжения материала основы. Последнее утверждение справедливо, поскольку мы рассматриваем начальную стадию обработки. В дальнейшем, когда образуется слой покрытия, необходимо будет решать контактную задачу для упругого тела с мягким тонким покрытием.

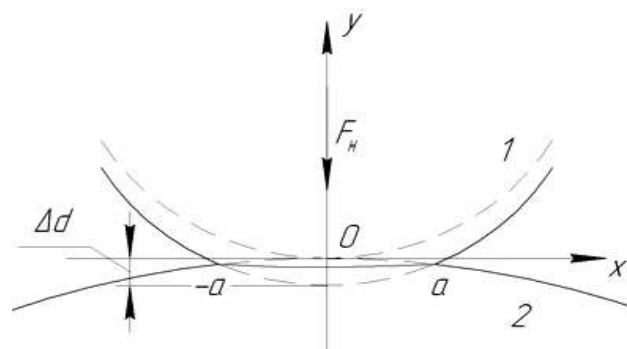


Рис. 3. Схематическое представление области контакта

Для определения площадки контакта обратимся к механике контактных взаимодействий [2].

Упругие тела 1 – ролик и 2 – внутреннее кольцо перемещаются поступательно на величину  $\Delta d$  вследствие действия силы  $F_H$  (рис. 3). В результате контакт происходит на отрезке  $-a \leq x \leq a$ :

$$v_1 + v_2 = -[\Delta d - f_1(x) - f_2(x)], \quad (9)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – компоненты векторов  $\vec{u}_1$  и  $\vec{u}_2$  перемещения точек на отрезке контакта первого и второго упругих тел;  $\Delta d$  – величина перемещения вследствие упругой деформации;  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  – функции описывающие поверхности контактирующих тел.

$$f_1(x) = \sqrt{R_1^2 - x^2} + R_1, f_2(x) = \sqrt{R_2^2 - x^2} - R_2, \quad (10)$$

где  $R_1$  – радиус рабочей поверхности ролика;  $R_2$  – рабочей поверхности внутреннего кольца.

$$R_1 = \frac{D_p}{2}, R_2 = \frac{D_{вн}}{2}, \quad (11)$$

где  $D_p$  – диаметр ролика;  $D_{вн}$  – диаметр рабочей поверхности внутреннего кольца.

Для решения (9) относительно  $x$  нужно учесть краевые условия:

$$v_1 = 0, v_2 = 0 \text{ при } x = \pm a. \quad (12)$$

Тогда с учетом (10) и (11) будем иметь

$$\Delta d = \sqrt{\frac{D_p^2}{4} - x^2} + \frac{D_p}{2} + \sqrt{\frac{D_{вн}^2}{4} - x^2} - \frac{D_{вн}}{2}. \quad (13)$$

Выразим (13) через  $x$ :

$$x = \pm \frac{\sqrt{\Delta d (D_p - \Delta d)(D_{вн} + \Delta d)(D_{вн} - D_p + \Delta d)}}{2\Delta d + D_{вн} - D_p}. \quad (14)$$

Выражение (14) определяет координаты краевых точек  $-a$  и  $a$ .

Если рассматривать контакт рабочей поверхности ролика с рабочей поверхностью наружного кольца, то в (10) следует изменить функцию, описывающую поверхность, а в (11) принять в расчет диаметр рабочей поверхности наружного кольца  $D_n$ :

$$f_3(x) = \sqrt{R_3^2 - x^2} + R_3, R_3 = \frac{D_n}{2}. \quad (15)$$

Тогда (14) с учетом (15) для наружного кольца и ролика будет

$$x = \pm \frac{\sqrt{\Delta d (D_p - \Delta d)(D_n - \Delta d)(D_n + D_p - \Delta d)}}{D_n + D_p - 2\Delta d}. \quad (16)$$

Теперь, зная из (14) и (16) размеры площадки контакта, можем найти силу  $F_H$ . Из теории контакта двух упругих тел известна зависимость:

$$a = \sqrt{\frac{2F_H R_*}{\pi \theta_*}}; \theta_* = \frac{\theta_1 + \theta_2}{\theta_1 \theta_2}; \theta_i = \frac{G_i}{1 - \nu_i} \quad i = 1, 2; R_* = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}, \quad (17)$$

где  $G_i$  и  $\nu_i$  – модули сдвига и коэффициенты Пуассона тел;  $R_1$  и  $R_2$  – радиусы кривизны тел.

Выразим (17) через  $F_H$ :

$$F_H = \frac{\pi a^2 \theta_*}{2R_*}. \quad (18)$$

Подставляя в (18) соответствующие значения модулей сдвига, коэффициентов Пуассона, радиусов и размеры площадок контакта, можем определить силы  $F_H$  для контакта ролика с внутренним и наружным кольцами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Давиденко О.Ю. Имитационные технологии подшипникового производства / О.Ю. Давиденко, М.К. Решетников. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2003. 146 с.
2. Александров В.М. Введение в механику контактных взаимодействий / В.М. Александров, М.И. Чебаков. Ростов-н/Д.: Изд-во ООО «ЦВВР», 2007. 114 с.

**Пряхин Иван Владимирович** –

аспирант кафедры «Технология машиностроения»

Саратовского государственного технического университета

**Давиденко Олег Юрьевич** –

доктор технических наук, профессор, декан машиностроительного факультета

Саратовского государственного технического университета

УДК 621.923

**В.О. Соколов**

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОФИЛЬНОЙ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Дано обоснование системных принципов обеспечения точности профильной алмазно-абразивной обработки изделий сложной конфигурации из твердых сплавов, ферритов, керамики, стекла, магнитных сплавов и т. п. Приведено описание одного из вариантов технического решения для их практической реализации.*

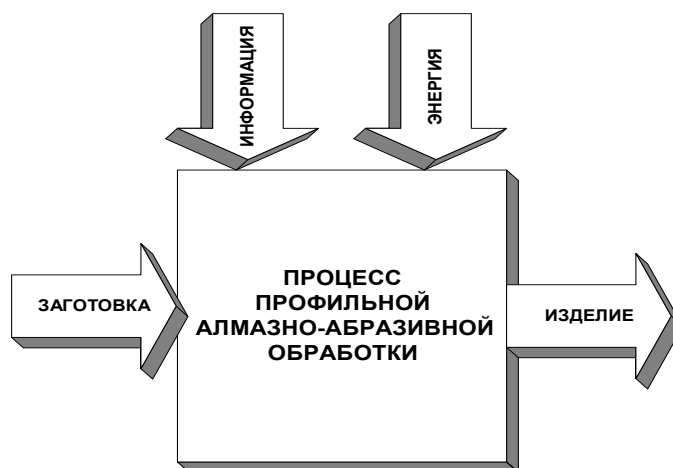
**V.O. Sokolov**

### MAINTENANCE OF ACCURACY PROFILE DIAMOND-ABRASIVE PROCESSINGS OF PRODUCTS FROM INTRACTABLE MATERIALS

*The substantiation of system principles of maintenance of accuracy of profile diamond-abrasive processing of products of a difficult configuration from firm alloys, ferrite, ceramics, glass, magnetic alloys, etc. is given. The description of one of variants of the technical decision for their practical realisation is resulted.*

В современных условиях конкурентоспособность продукции на мировом рынке определяется, прежде всего, ее качеством. Основным показателем качества, достижение которого вызывает наибольшие трудности в процессе производства, является точность. Наиболее остро проблема обеспечения точности стоит при изготовлении изделий сложной конфигурации из труднообрабатываемых материалов, таких как твёрдые сплавы, керамика, магнитные сплавы, ферриты, стекло и др. Одним из наиболее эффективных методов, используемых при изготовлении таких изделий, является профильная алмазно-абразивная обработка. Применение профильного врезного шлифования инструментами из алмаза, эльбора и других сверхтвёрдых материалов позволяет многократно увеличить производительность обработки, обеспечить высокое качество обработанной поверхности и хорошую повторяемость размеров изделий в партии. Операции профильного шлифования не требуют применения сложного и дорогостоящего технологического оборудования и могут быть легко интегрированы в состав технологических процессов, выполняемых на автоматизированных производственных системах.

Процесс профильной алмазно-абразивной обработки в общем случае представляет собой сбалансированную систему материальных и информационных потоков (рисунок), из которых следует выделить три входных потока: исходную заготовку, энергию и информацию. Первые два потока являются неотъемлемыми составляющими процесса формообразования, причем исходная заготовка отражает объект воздействия, а энергия – средство воздействия. Выходным потоком является готовое изделие.



Системно-структурная модель профильной алмазно-абразивной обработки

Характерной особенностью профильной алмазно-абразивной обработки является то, что вся геометрическая информация о готовом изделии полностью задается в виде жесткого формоносителя – профильного шлифовального инструмента. В процессе формообразования изделия геометрическая информация переносится на исходную заготовку путем простого копирования формы рабочей поверхности инструмента. Никакой дополнительной информации об изделии на этапе обработки введено быть не может.

Выходной поток отличается от суммы входных потоков массой (часть материала исходной заготовки уходит в стружку), энергией (после обработки возникают остаточные напряжения и т.п.), а также объемом содержащейся в нем геометрической информации. Разность объемов входной и выходной геометрической информации обусловлена неточностью переноса геометрической информации с жесткого формоносителя на заготовку вследствие совокупного влияния различных факторов и представляет собой погрешность обработки изделия.

Таким образом, точностные параметры готового изделия в значительной степени будут зависеть, во-первых, от того, с какой точностью необходимая геометрическая информация заносится на жесткий формоноситель в процессе его получения и, во-вторых, от того, насколько стабильной является конфигурация рабочей поверхности алмазно-абразивного инструмента в процессе шлифования.

Шлифовальный инструмент, имеющий необходимую конфигурацию рабочей поверхности, может быть получен из стандартного путем соответствующего профилирования. Практика показывает, что наиболее эффективным методом профилирования алмазно-абразивных инструментов на ме-

таллических связках является электроэрозионный [1]. Указанный метод относится к процессам бесконтактного формообразования, когда шлифовальный инструмент и правящий электрод разделены межэлектродным зазором. Это приводит к возникновению погрешности формообразования, которая снижается с уменьшением величины зазора, а идеальная точность может быть достигнута только в контактных процессах.

При электроэрозионной обработке формообразование осуществляется по поверхности металлической связки. В то же время рабочая поверхность алмазно-абразивного инструмента формируется по вершинам выступающих зерен. Высота выступания зерен является случайной величиной, причем величина разновысотности возрастает с увеличением зернистости. Следовательно, точность профилирования шлифовальных инструментов электроэрозионным методом ставится в зависимость от зернистости абразивного порошка.

Электроэрозионная обработка позволяет получать шлифовальные круги с одинаковыми свойствами по всей рабочей поверхности, в то же время термодинамические нагрузки, возникающие при шлифовании на разных участках фасонного профиля, существенно различаются. Это приводит к неравномерному износу рабочей поверхности круга, и, в конечном счете, к снижению точности обработки.

В целях повышения точности занесения необходимой геометрической информации на жесткий формоноситель (профильный шлифовальный инструмент) в процессе его получения и стабилизации конфигурации его рабочей поверхности в процессе шлифования могут быть использованы различные способы. Сущность одного из таких способов [2] заключается в следующем.

Профильный шлифовальный круг получают за две технологические операции. На первой операции производится предварительное профилирование электроэрозионным методом. Получаемая при этом конфигурация профиля рабочей поверхности шлифовального круга отличается от требуемой на величину припуска под последующее накатывание роликом, который задается с учетом интенсивности износа алмазно-абразивного инструмента на различных участках фасонного профиля. При этом участкам профиля, имеющим больший износ, соответствует больший припуск и наоборот.

На второй операции выполняется окончательное формирование профиля круга путем пластического деформирования накатным роликом. При накатывании зерна утапливаются в связку, а их вершины выстраиваются по линии, эквидистантной профилю ролика. В результате этого достигается высокая точность профилирования. При пластическом деформировании металлической связки происходит ее упрочнение и образуется наклепанный слой с повышенной твердостью. Поскольку величина пластической деформации неодинакова для разных участков фасонного профиля, то степень наклепа также различна. Таким образом, участки, подверженные большему износу, получают большую степень упрочнения и становятся более износостойкими и наоборот.

Для повышения эффективности упрочнения связки профилирование накатным роликом производят с применением жировых смазок, которые позволяют уменьшить трение между контактирующими поверхностями ролика и рабочего слоя шлифовального круга. Введение в смазку поверхностно-активных веществ приводит к проявлению эффекта адсорбционного пластифицирования, который проявляется в понижении прочности и облегчении деформируемости материала связки. При небольшой концентрации поверхностно-активных веществ и малоцикловом нагружении происходит упрочнение поверхностного слоя на 35...40%. Более высокая эффективность упрочнения при деформировании с применением поверхностно-активных веществ достигается вследствие облегчения выхода дислокации на поверхность и увеличения их плотности при последующем накатывании роликом. Установлено, что наибольший эффект упрочнения материала металлической связки на основе меди и олова происходит при концентрации олеиновой кислоты от 0,1 до 0,5% в вазелиновом масле.

Экспериментальные исследования показали, что накатывание роликом обеспечивает снижение износа шлифовального круга в среднем на 20...25% и делает его более равномерным по профилю. Это, в свою очередь, способствует сохранению исходной конфигурации рабочей поверхности шлифовального круга практически неизменной в течение длительного периода времени.

Установлено, что при прочих равных условиях круги, прошедшие операцию накатывания, обеспечивают значительно меньшую шероховатость обработанной поверхности. Таким образом, предложенный способ может быть рекомендован для получения профильных алмазно-абразивных инструментов, используемых на операциях окончательного шлифования изделий из труднообрабатываемых материалов, где необходимо обеспечить высокую точность и малую шероховатость поверхности изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорофеев В.Д. Основы профильной алмазно-абразивной обработки / В.Д. Дорофеев. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1983. 189 с.
2. Пат. 2364497 РФ. Способ изготовления профильных шлифовальных кругов / А.В. Соколов, В.З. Зверовщиков, В.О. Соколов и др.; Пенз. гос. ун-т. № 2008116945/02; заявл. 28.04.2008. Бюл. № 23. 2009.

**Соколов Владимир Олегович** –

доктор технических наук, профессор, декан факультета автоматизации машиностроения Пензенского государственного университета

УДК 621.785.51.06(088.8)

**В.О. Соколов, А.И. Игонин, В.А. Игонин**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БОРИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН**

*Рассмотрена новая технология упрочнения сменных стальных пластин штампов путем борирования в порошках. Применение предлагаемой технологии позволяет увеличить износостойкость пластин более чем в два раза и соответственно повысить эксплуатационную надежность штампов для производства кирпича.*

**V.O. Sokolov, A.I. Igonin, V.A. Igonin**

**PERFECTING OF PRODUCTION ENGINEERING OF BORATING STEEL PLATES**

*The production engineering of a reinforcement of replaceable steel plates of press tools by borating in dusts is observed. Application of offered production engineering allows to augment endurance of plates more than twice and accordingly, to raise operate reliability of press tools for brick production.*

Среди различных видов изнашивания деталей машин наиболее распространенным и быстро протекающим является абразивное, при котором разрушение поверхностного слоя деталей осуществляется твердыми частицами минерального происхождения. К таким деталям относятся сменные пластины и керны штампов для производства кирпича методом прессования, что обусловлено характером выполняемых функций – механического взаимодействия рабочих поверхностей деталей и абразивной среды. Абразивный износ изменяет их размеры, форму, состояние рабочих поверхностей, снижая функциональные качества и соответственно качество выпускаемой продукции.

Одним из основных методов повышения стойкости указанных деталей является диффузионная химико-термическая обработка (ХТО), в результате которой на поверхности можно получить новый слой с необходимыми свойствами (физическими, химическими, механическими и др.), отличающийся от основного материала [1].

Среди процессов диффузионного насыщения особое место занимает борирование, обеспечивающее высокую твердость и износостойкость получаемого покрытия.

Для деталей типа пластин в условиях серийного производства наиболее перспективными в экономическом и технологическом отношении является процесс диффузионного насыщения в боросодержащих порошках.



Развитие этого направления в борировании, несомненно, перспективно и в значительной мере стимулируется потребностью создания радикальной технологии порошкового борирования для повышения срока службы деталей, работающих на износ в абразивной среде, где поверхностная закалка ТВЧ, азотирование или цементация оказываются малоэффективными.

Несмотря на то, что твердость и износостойкость борированного слоя значительно выше цементированного или азотированного, полученных также методами (ХТО), процесс борирования, в частности в порошках, не нашел должного промышленного применения. Это объясняется недостаточностью и часто противоречивостью практических рекомендаций для промышленного использования при борировании и др.

Существующие технологии [2] борирования в порошковых смесях не в полной мере используют потенциальные возможности этого способа. Борирование обычно производится в специальных, герметически закрываемых плавким затвором контейнерах, что значительно усложняет и удлинняет процесс выгрузки деталей. Отсутствуют рекомендации по выбору рационального состава насыщающих смесей, что приводит к необоснованно большому расходу дорогостоящих компонентов, увеличению времени насыщения и энергозатрат.

В данной работе с целью повышения эффективности технологии борирования в порошковых смесях предлагается в состав насыщающей смеси добавить карбюризатор, который при нагревании обеспечивает стабильное образование газовой фазы (диоксида углерода  $\text{CO}_2$ ), что предохраняет смесь от окисления, а также интенсифицирует доставку бора к поверхности детали, сохраняя тем самым насыщающую способность компонентов.

Необходимыми условиями формирования боридных слоев на поверхности стальной детали являются:

- наличие у насыщаемой поверхности активного атомарного бора;
- необходимая температура и длительность выдержки, обеспечивающие протекание диффузии атомарного бора в сталь.

Диффузия бора через поверхность детали в глубину при постоянной температуре может быть описана дифференциальным уравнением массопереноса [3]. Полагая, что коэффициент диффузии незначительно зависит от концентрации, уравнение диффузии можно представить в виде

$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 C(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $C(x, \tau)$  – концентрация бора в детали;  $D$  – коэффициент диффузии бора в сталь.

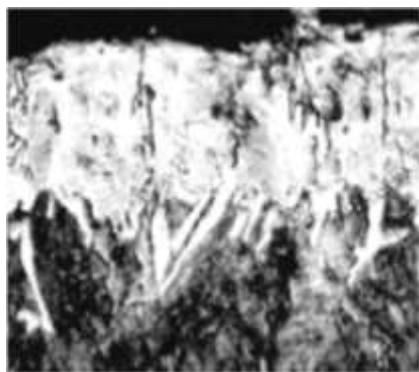
Поскольку толщина диффузионного слоя незначительна по сравнению с размерами детали, последнюю можно считать полубесконечным телом с адиабатическими граничными условиями:

$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x \rightarrow \infty} = 0. \quad (2)$$

Начальное распределение концентрации бора в слое принимается постоянным:

$$C(x, 0) = C_0 = \text{const}. \quad (3)$$

Решение дифференциального уравнения (1) позволяет определить профиль  $C(x)$  распределения концентрации бора по толщине детали  $x$ .



Микроструктура боридного слоя;  $\times 200$

При содержании 8,84% бора образуется химическое соединение – борид железа  $\text{Fe}_2\text{B}$ , а при содержании 16,25% бора – борид  $\text{FeB}$ . Таким образом, известный профиль концентрации бора дает возможность прогнозировать толщину упрочненного слоя на поверхности детали. Структурные особенности строения кристаллической решетки боридов железа обоих типов обуславливают их высокую твердость. При металлографическом исследовании образцов из углеродистой стали, подвергшихся борированию, на поверхности выявляется плотный белый слой боридов, которые вклиниваются в основной металл (рисунок). Боридная зона имеет характерное игольчатое строение. Иглы-конусы боридов срастаются основаниями у поверхности и образуют сплошной слой [4].

Для оценки износостойкости упрочненного слоя были проведены исследования пластин штампов для полусухого прессования кирпича в реальных условиях производства. При этом использовали пластины, изготовленные из стали 20, подвергаемые цементации на глубину 1,5-1,8 мм с последующей закалкой до твердости 55-60 HRC<sub>3</sub>, и пластины, подвергнутые борированию по предложенной технологии. Анализ показывает, что борирование по предлагаемой технологии позволяет повысить износостойкость пластин более чем в 2 раза по сравнению с традиционным методом упрочнения, а также упростить и удешевить технологию борирования в порошковой среде.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздов Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Павлов, В.Н. Пучков. М.: Машиностроение, 1986. 224 с.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / под ред. Л.С. Ляховича. М.: Металлургия, 1981. 423 с.
3. Диффузионное насыщение и покрытие на металлах / Т.М. Левченко, Т.Т. Панич, Т.В. Стасевич и др. Киев: Наукова думка, 1977. 189 с.
4. Сорокин Л.М. Упрочнение деталей борированием / Л.М. Сорокин. М.: Машиностроение, 1972. 325 с.

**Соколов Владимир Олегович** –

доктор технических наук, профессор, декан факультета автоматизации машиностроения Пензенского государственного университета

**Игонин Анатолий Иванович** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Пензенского государственного университета

**Игонин Владислав Анатольевич** –

аспирант кафедры «Технология машиностроения» Пензенского государственного университета

УДК 621.914

**Л.И. Шейко, С.Я. Приказчиков, В.В. Погораздов**

### **ДВУХКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПОСТОЯННЫХ МНОГОКООРДИНАТНЫХ ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ ДЛЯ КОНИЧЕСКИХ И ГИПОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ**

*Приведены результаты двухкритериальной оптимизации конструктивных постоянных многокоординатных зубообрабатывающих станков.*

**L.I. Sheiko, S.J. Prikazchikov, V.V. Pogoraslov**

### **THE DOUBLE CRITERION OPTIMISATION OF THE DESIGNERS CONSTANTS OF THE CNC GEAR-CUTTING GENERATOR FOR THE BEVEL GEARS**

*The results of the double criterion optimisation of the designers constants of the CNC gear-cutting generator for the bevel gears are presented.*

Важнейшими конструктивными постоянными, существенно влияющими на габарит, металлоемкость и точность многокоординатных зубообрабатывающих станков для конических и гипоидных передач (МЗС), являются координаты оси поворота исполнительного органа станка, изменяющего угол между осями вращения инструментального шпинделя и шпинделя изделия [1, 2]. В связи с ука-

занным актуальным является вопрос обоснованного выбора этих конструктивных постоянных МЗС, выполняемого при проектировании станка для уже выбранной компоновки.

Для одной из рациональных компоновок МЗС – АСВХОЗУС, представленной в работе [3], угол В между осями вращений шпинделей инструмента и изделия (рис. 1) устанавливается за счет поворота оси вращения шпинделя изделия вокруг вертикальной оси  $O_{дм}N_M$ , а конструктивными постоянными для этой компоновки являются величины  $A_{jM}$  и  $T_{jM}$ , задающие координаты этой оси относительно опорного торца обрабатываемого зубчатого колеса и относительно оси вращения шпинделя изделия соответственно.

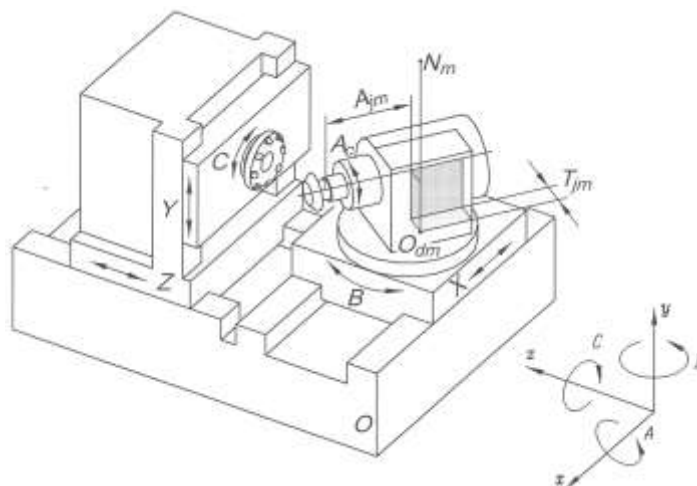


Рис. 1. Компоновка МЗС

Авторами разработана и применена для этой компоновки методика минимизации объема рабочего пространства, обеспечивающая уменьшение габарита и металлоемкости станка без изменения номенклатуры обрабатываемых зубчатых колес [1]. Процесс минимизации выполнялся с использованием метода прямого поиска Хука-Дживса [4], а параметрами минимизации являлись конструктивные постоянные  $A_{jM}$ ,  $T_{jM}$ . Значения конструктивных постоянных, обеспечивающие минимум объема рабочего пространства, определялись для каждого из шести типоразмеров МЗС (ГОСТ 8000-78). Для одного из них, например, с наибольшим диаметром обрабатываемых зубчатых колес  $d_e = 320$  мм при использовании зуборезных головок с диаметрами  $d_o = 60-250$  мм, значения конструктивных постоянных, обеспечивающих минимальное значение объема рабочего пространства при обработке всей номенклатуры зубчатых колес, соответствующей выбранному типоразмеру, получили следующие оптимальные значения:  $A_{jM} = 125$  мм,  $T_{jM} = 95$  мм.

В [2] описана разработанная авторами методика оптимизации конструктивных постоянных МЗС по критерию точности профилирования зубьев, оцениваемой как отклонение фактической поверхности зубьев от номинальной в направлении нормали к последней в расчетной точке. Оптимизация осуществлялась также методом Хука-Дживса. Для описанной выше компоновки МЗС того же типоразмера были определены другие оптимальные значения конструктивных постоянных:  $A_{jM} = 70,6$  мм,  $T_{jM} = 47,9$  мм, обеспечивающие при прочих равных условиях минимальные погрешности профилирования зубьев для максимального числа зубчатых колес, обрабатываемых на МЗС рассматриваемого типоразмера.

Для дальнейшего изложения введем следующие обозначения:

$K_1$  – критерий объема рабочего пространства, а оптимальные по этому критерию конструктивные постоянные  $A_{K1}$ ,  $T_{K1}$ ;

$K_2$  – критерий погрешности профилирования зубьев, а конструктивные постоянные, обеспечивающие минимум этого критерия,  $A_{K2}$ ,  $T_{K2}$ .

Сравнение оптимальных значений конструктивных постоянных по критериям  $K_1$  и  $K_2$  показывает их несовпадение и возникает вопрос, какое же значение координат оси  $O_{дм}N_M$  следует использовать при проектировании станка? Если проектируется станок класса точности А или С и все возможные резервы повышения точности другими способами уже исчерпаны, то следует расположить ось

$O_{dM}N_M$  в соответствии с конструктивными постоянными  $A_{K2}, T_{K2}$ . Если же имеется возможность обеспечить требуемую точность обработки другими способами, например, при проектировании станков более низкого класса точности, то при определении координат оси  $O_{dM}N_M$  обязательно следует учитывать и критерий  $K_1$ . В этом случае задача определения координат оси  $O_{dM}N_M$  превращается в многокритериальную.

Вполне обоснованно полагаем, что искомые по двум критериям значения  $A_{jM}$  и  $T_{jM}$  находятся в промежутке между  $A_{K1}, T_{K1}$  и  $A_{K2}, T_{K2}$ . Для простоты описания зоны поиска двухкритериального значения, в которой возможны положения оси  $O_{dM}N_M$ , представим ее в виде прямоугольника, диагональю которого является прямая, соединяющая координаты оси  $O_{dM}N_M$ , рассчитанные по критериям  $K_1$  и  $K_2$ .

Для анализа поведения величины критерия  $K_1$  в выделенной зоне было рассчитано его значения для каждой из  $n$  узловых точек координатной сетки, накинута на этот прямоугольник, при последовательном размещении оси  $O_{dM}N_M$  в этих узловых точках. Затем средствами MathCAD был построен двумерный график (рис. 2) зависимости величины критерия  $K_1$

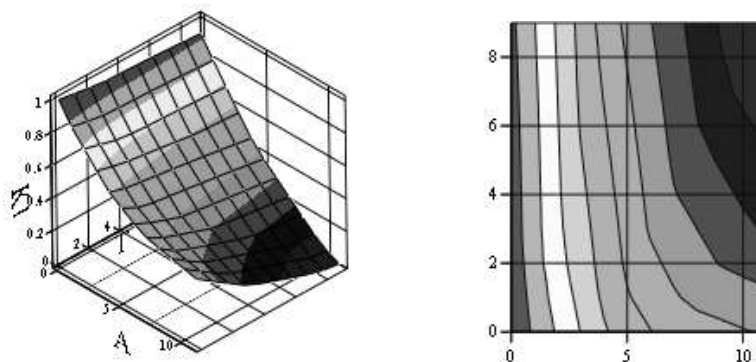


Рис. 2. Поверхность критерия  $K_1$  и график линий уровня данной поверхности от значений параметров  $A_{jM}$  и  $T_{jM}$ , изменяющихся в пределах  $A_{K1} \leq A_{jM} \leq A_{K2}$  и  $T_{K1} \leq T_{jM} \leq T_{K2}$

Анализ вида этого графика показывает, что, во-первых, его поведение монотонно на исследуемом участке и, во-вторых, значение  $K_1$  для положения оси  $O_{dM}N_M$  в точке с координатами  $A_{K2}, T_{K2}$ , оптимальными по критерию  $K_2$ , достигает величины в 1,4 раза большей, чем оптимальное по критерию  $K_1$ , и пренебрегать влиянием положения оси поворота  $O_{dM}N_M$  на размеры рабочей зоны станка не всегда рационально.

Аналогично было исследовано поведение величины критерия  $K_2$  в выделенной зоне и рассчитаны его значения для тех же  $n$  узловых точек координатной сетки, что и для критерия  $K_1$ , накинута на тот же прямоугольник, и теми же средствами MathCAD построен подобный двумерный график (рис. 3) зависимости величины критерия  $K_2$  от тех же параметров  $A_{jM}$  и  $T_{jM}$  в указанных выше пределах.

Анализ построенного графика показывает, что его поведение также монотонно на исследуемом участке и что значение анализируемого критерия  $K_2$  для положения оси  $O_{dM}N_M$  с координатами  $A_{K1}, T_{K1}$ , оптимальными по критерию  $K_1$ , также достигает величины в 2,3 раза большей, чем оптимальное. Таким образом, и влиянием положения оси  $O_{dM}N_M$  на точность обработки зубчатых колес пренебрегать нецелесообразно.

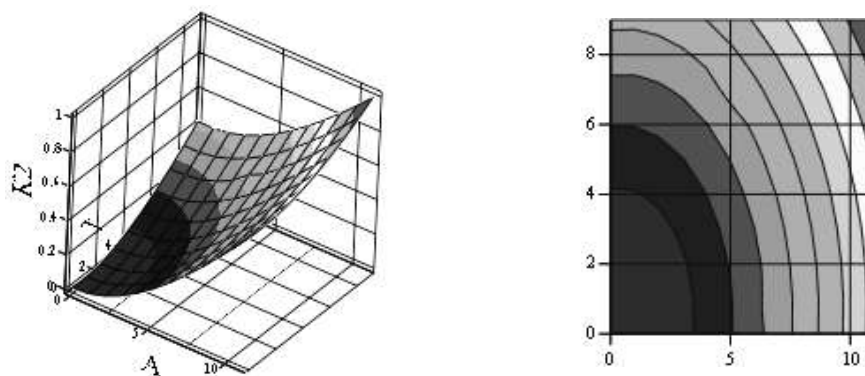


Рис. 3. Поверхность критерия  $K_2$  и график линий уровня данной поверхности

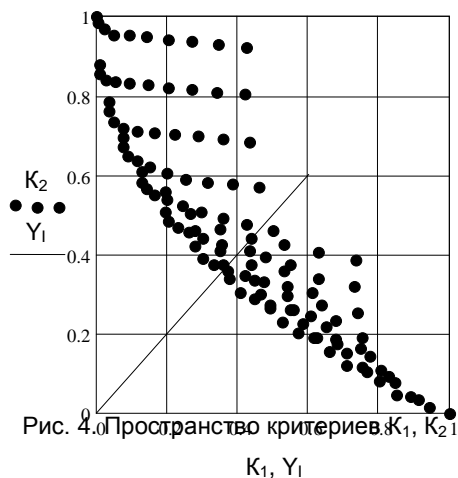


Рис. 4. Пространство критериев  $K_1, K_2$

$K_1, Y_1$

Поэтому при определении координат оси  $O_{dm}N_M$  поворота исполнительного органа станка, изменяющего угол между осями вращения инструментального шпинделя и шпинделя изделия, для МЗС рассматриваемой и других возможных компоновок, предлагается рассматривать из множества возможных положений оси  $O_{dm}N_M$  только так называемые эффективные парето-оптимальные решения [5].

Эффективные значения координат оси поворота – это наилучшие из множества допустимых по значениям обоих рассматриваемых критериев, число которых значительно меньше числа допустимых вариантов, и единственное оптимальное значение выбирается только из области эффективных. Для определения принципиального существования таких эффективных значений необходимо визуально оценить форму и расположение графического изображения пространства  $D$  критериев  $K_1$  и  $K_2$ , охватывающего  $n$  точек с координатами  $K_{1i}, K_{2i}$  (для  $i = 1..n$ ). Это позволит определить наличие в данном случае юго-западной границы пространства  $D$ . Точки, образующие эту границу, и являются искомыми эффективными, и для двух любых точек этой граничной кривой нельзя улучшить значения одного критерия, не ухудшая при этом значения другого. Для такого графического изображения пространства критериев необходимо упорядочить их по важности. В рассматриваемом варианте использован принцип равенства влияния критериев.

Построение массива точек, образующих пространство критериев, в единых осях координат требует согласования размерности обоих анализируемых критериев или приведения всех их значений к безразмерному виду. Для каждого из критериев  $K_{1i}$  или  $K_{2i}$  расчет нового значения критерия в каждой точке исследуемого пространства, приводящий к его безразмерному виду  $\tilde{K}_1$  и  $\tilde{K}_2$ , осуществлялся по формуле

$$\tilde{K}_{(1,2)i} = (K_{(1,2)i} - \min K_{1,2}) / (\max K_{1,2} - \min K_{1,2}).$$

Анализ формы и расположение построенного таким образом графического изображения пространства  $D$  критериев (рис. 4) показывает принципиальное наличие эффективных и оптимального значения параметров  $A_{jM}$  и  $T_{jM}$ , но только изображение пространства критериев не позволяет определить величины этих параметров.

Для расчетного определения параметров  $A_{jM}$  и  $T_{jM}$ , оптимальных одновременно по двум критериям, необходимо из всех пар значений критериев отобрать одну, удовлетворяющую одновременно двум условиям – изображение этой пары наиболее близко расположено к биссектрисе угла  $\tilde{K}_1 0 \tilde{K}_2$  и имеет наименьшую длину вектора, соединяющего эту точку с началом координат, что предлагается осуществлять по следующему алгоритму:

1. Для первого сочетания значений координат оси поворота  $A_{K1}, T_{K1}$ , соответствующего левой нижней точке прямоугольника зоны поиска, рассчитывается абсолютное значение величины  $V_{\min} = 1,0 - \tilde{K}_2 / \tilde{K}_1$  для  $\tilde{K}_2$  и  $\tilde{K}_1$ , соответствующих этой точке, а сами значения  $A_{K1}$  и  $T_{K1}$  присваиваются идентификаторам  $A_{\min}$  и  $T_{\min}$ ;

2. Последовательно увеличивается на заданный шаг  $\Delta T$  текущее значение  $T_{jM_{\text{тек}}}$  от  $T_{K1}$  до величины  $T_{K2}$  и на каждом шаге рассчитывается абсолютное значение  $V_{\text{тек}} = 1,0 - \tilde{K}_2 / \tilde{K}_1$  для значений  $\tilde{K}_2$  и  $\tilde{K}_1$ , соответствующих вновь образованному сочетанию  $A_{jM_{\text{тек}}}$  и  $T_{jM_{\text{тек}}}$ , и сравнивается со значением  $V_{\min}$ . Если рассчитанное значение  $V_{\text{тек}}$  меньше  $V_{\min}$ , то производится переобозначение  $V_{\min} = V_{\text{тек}}$  и идентификаторам  $A_{\min}$  и  $T_{\min}$  присваиваются текущие значения  $A_{jM_{\text{тек}}}$  и  $T_{jM_{\text{тек}}}$ .

После выполнения цикла действий по п.2 для одной линии координатной сетки прямоугольника возможных положений оси поворота  $O_{dm}N_M$  будут определены значения  $A_{jM}$  и  $T_{jM}$  под именем  $A_{\min}$  и  $T_{\min}$ , соответствующие изображению точки на той части пространства критериев, которая была охвачена исследованными значениями  $A_{jM}$  и  $T_{jM}$ , наиболее близкой расположенной к биссектрисе угла  $\tilde{K}_1 0 \tilde{K}_2$ . Для этой комбинации значений, соответствующих идентификаторам  $A_{\min}$  и  $T_{\min}$  определяется величина

$R = \sqrt{K_1^2 + K_2^2}$  и рассчитанное значение присваивается идентификатору  $R_{\min}$ , а вновь введенным идентификаторам  $A_{\text{опт}}$  и  $T_{\text{опт}}$  присваиваются соответственно значения  $A_{\min}$  и  $T_{\min}$ .

3. Увеличивается с заданным шагом изменения  $\Delta A$  текущее значение  $A_{j_{\text{Мтек}}}$  до величины  $A_{K2}$  и вновь выполняются действия по п. 1 и 2. По окончании выполнения описанных действий вновь рассчитывается величина  $R$  и сравнивается с рассчитанным ранее значением  $R_{\min}$ . Если рассчитанное значение  $R$  меньше чем  $R_{\min}$ , то производится переобозначение

$$R_{\min} = R, \text{ а } A_{\text{опт}} = A_{\min} \text{ и } T_{\text{опт}} = T_{\min}.$$

Когда текущее значение  $A_{j_{\text{Мтек}}}$  станет больше, чем  $A_{K2}$ , происходит прекращение действия по данному алгоритму и в идентификаторах  $A_{\text{опт}}$  и  $T_{\text{опт}}$  остаются искомые по данной задаче величины.

Для рассчитанных и приведенных выше значений  $A_{K1}$  и  $T_{K1}$ ,  $A_{K2}$  и  $T_{K2}$  по обоим описанным критериям были проведены действия по описанному алгоритму и в результате определены значения  $A_{\text{опт}}$  и  $T_{\text{опт}}$ , в равной степени удовлетворяющие двум критериям  $K_1$  и  $K_2$ :  $A_{\text{опт}} = 105$  мм и  $T_{\text{опт}} = 57$  мм.

Таким образом, предложенная методика позволяет выполнять двухкритериальную оптимизацию конструктивных постоянных многокоординатных зубообрабатывающих станков. В рассматриваемом случае методика реализована для равнозначных критериев минимума объема рабочего пространства и минимума погрешности формообразования поверхностей зубьев конических и гипоидных передач. Данная методика может решить рассмотренную задачу и при упорядочивании критериев оптимизации по степени их важности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шейко Л.И. Минимизация объема рабочего пространства многокоординатных зубообрабатывающих станков для изготовления конических и гипоидных передач / Л.И. Шейко, С.Я. Приказчиков // СТИН. 2008. № 3. С. 3-6.

2. Оптимизация конструктивных постоянных многокоординатных зубообрабатывающих станков по критерию точности профилирования зубьев конических и гипоидных передач / Л.И. Шейко, С.Я. Приказчиков, М.В. Россохач, Г.В. Вислов // Исследование сложных технологических систем: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. С. 104-108.

3. Шейко Л.И. Структурный синтез компоновок многокоординатных зубообрабатывающих станков для изготовления конических и гипоидных передач / Л.И. Шейко // СТИН. 2001. № 3. С. 6-10.

4. Реклейтис Г. Оптимизация в технике. Кн. 1 / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел. М.: Мир, 1986. 350 с.

5. Жилинскас А. Поиск оптимума / А. Жилинскас, В. Шалтянис. М.: Наука, 1980. 128 с.

#### **Шейко Леонид Иванович** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета

#### **Приказчиков Сергей Яковлевич** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета

#### **Погораздов Валерий Васильевич** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета

УДК 621

**А.М. Яковлева**

### **ПРОЦЕДУРА ВЫБОРА ОБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СТАНКОВ ПРОТЯЖНОЙ ГРУППЫ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

*Рассматривается вопрос об автоматизации процесса формирования технологического маршрута обработки изделий на протяжных станках.*

**A.M. Jakovleva**

**PROCEDURE OF A CHOICE OF THE PROCESSING TOOL FOR MACHINE TOOLS OF LINGERING GROUP IN THE AUTOMATED SYSTEM OF PLANNING OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS**

*A question on automation of process of formation of a technological route of processing of products, on lingering machine tools is considered.*

Формирование технологического маршрута обработки изделий – долгий и трудоемкий процесс. Для сокращения времени формирования маршрута обработки разрабатывается база технологических данных. Формируемая база данных позволяет создать большой массив информации о конкретном производстве, в частности о протяжном оборудовании, задействованном на производстве. База данных содержит информацию о станках протяжной группы и применяемых приспособлениях. Данные о станках включают: габариты, мощность, возможность программирования, максимальные и минимальные размеры устанавливаемой заготовки, а также другие особенности оборудования. Данные о приспособлениях содержат описание варианта закрепления и размеры устанавливаемых заготовок. Также информация о приспособлениях имеет привязку к определенному станку, на котором оно может быть использовано. Для эффективной работы предприятия вводятся специальные пометки о работоспособности оборудования и приспособлений в данный момент времени. Эти данные учитываются при формировании вариантов технологических процессов. База данных разработана сотрудниками кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов» машиностроительного факультета СГТУ. База данных построена по архитектуре клиент-сервер [1, 2]. На стороне клиента находятся средства обработки данных и визуального отображения полученных результатов, а на стороне сервера размещается база данных системы. Клиентское приложение реализовано на языке Object Pascal с помощью среды разработки Borland Delphi 7.0. В качестве сервера выступает СУБД Microsoft SQL Server 2000.

При формировании маршрута обработки необходимо правильно подобрать инструмент для обработки. Применяемый при протягивании инструмент – протяжка – представляет собой лезвийный инструмент с большим количеством режущих кромок. Разделение работы между многими резцами резко повышает стойкость инструмента, который обрабатывает без замены большое количество изделий, не требуя переналадки во время работы [3]. Точность обработки в данном случае не зависит от квалификации рабочего, так как она полностью определяется точностью изготовления инструмента. Протяжка обеспечивает точность обработки в пределах 7-го и 9-го квалитетов. Шероховатость протягиваемой поверхности  $Ra = 2,5-0,32$ . Протяжки можно подразделить на две группы: одна – для внутреннего протягивания, другая – для наружного протягивания. Каждая группа включает самые разнообразные виды протяжек, соответствующие различной форме обрабатываемых поверхностей. По конструктивному выполнению протяжки могут быть цельными и сборными (составными). По направлению режущих кромок относительно рабочего движения различают протяжки с кольцевыми и винтовыми зубьями (протяжки для внутреннего протягивания) или с прямым и наклонным зубом (протяжки для наружного протягивания, плоские и шпоночные). По материалу, из которого изготавливаются режущие части, протяжки делятся на быстрорежущие, твердосплавные и изготовленные из легированной инструментальной стали.

Наиболее часто на производстве применяют круглые протяжки переменного резания. Такие протяжки наиболее просты в изготовлении по сравнению с другими видами протяжного инструмента. На конструирование и изготовление одного инструмента уходит много времени. Для подбора необходимого для обработки инструмента разрабатывается локальная база данных протяжного инструмента.

Выбор инструмента для обработки деталей протягиванием зависит от многих факторов. На выбор протяжки главным образом влияют вид, размеры и точностные характеристики получаемой поверхности.

Параметры, необходимые для выбора инструмента, выбираются посредством обращения к различным базам данных в несколько этапов.

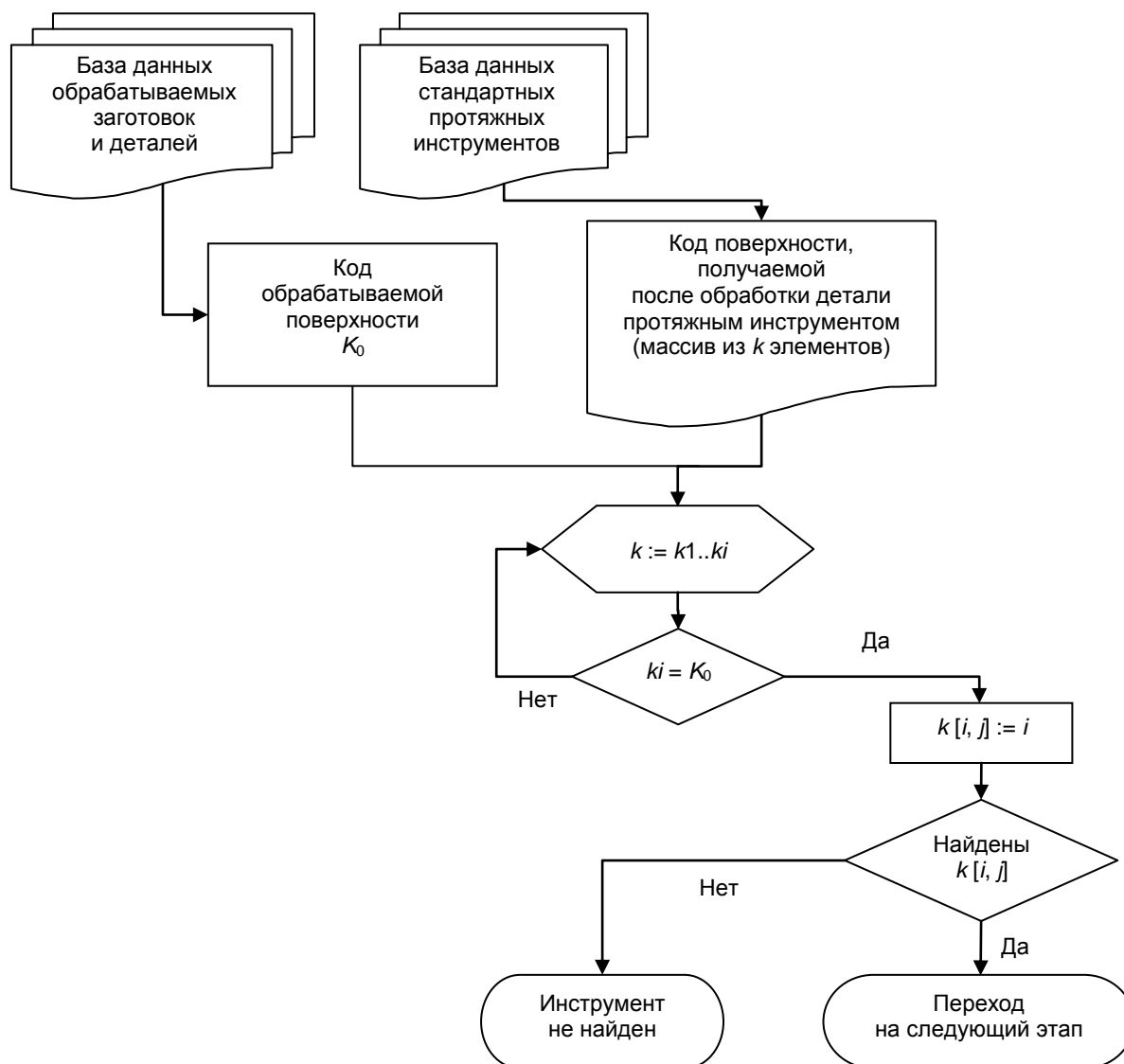
Первым этапом определяется инструмент, необходимый для обработки детали. При этом сравниваются код обрабатываемой поверхности и код обработки режущего инструмента. В случае протягивания это может быть круглая, квадратная, шпоночная, многогранная и другие виды протяжек. Пример алгоритма первого этапа выбора протяжки представлен на рисунке.

Вторым этапом сравниваются размерные характеристики обрабатываемой детали и инструмента для обработки. Размеры обрабатываемой детали поступают из базы данных производимых изделий, размеры протяжек – из базы данных инструментов.

Третьим этапом сравниваются возможности выбранного станка и выбранного по конструктивным характеристикам инструмента. Это необходимо для правильной эксплуатации инструмента. Проверяется возможность установки инструмента в патрон станка и мощность станка, для определения усилия резания. Полученные данные автоматически обрабатываются специальной программой в процессе выбора инструмента.

Программа выбирает алгоритм в зависимости от того, какую поверхность необходимо обрабатывать. Алгоритмы обработки различаются для разных поверхностей, так как сравниваются разные параметры. В зависимости от этого алгоритм выбора может быть сложнее или проще.

Сравнение параметров происходит методом перебора. Программа сравнивает один заданный параметр с множеством параметров, записанных в базе данных. При нахождении совпадающей по параметрам строки эта строка записывается в память программы. Дальнейший выбор происходит из выбранных ранее строк базы данных. Тем самым сокращается время на выбор того или иного инструмента.





## Первый этап выбора круглой протяжки

В настоящий момент сформирована база технологических знаний для группы протяжных станков. Также сформирована локальная база данных по технологическим возможностям круглых протяжек, параметры которых регламентированы ГОСТ 20365-74. Базу данных планируется применять на различных машиностроительных предприятиях г. Саратова.

База данных позволяет проследить работоспособность оборудования, а также наличие приспособлений и стандартного инструмента на производстве. При необходимости можно внести поправки в конструкцию изделия. Это позволяет сократить время на изготовление новой оснастки или инструмента.

Применение базы данных позволяет: систематизировать данные о применяемом на производстве протяжном оборудовании, приспособлениях и инструменте; учитывать работоспособность протяжных станков и применяемых приспособлений; систематизировать данные о применяемых заготовках и производимых изделиях; быстро исправлять имеющуюся и вводить новую информацию. Применение базы данных позволит сократить время на формирование технологического маршрута обработки. Это позволит увеличить производительность труда и сократить затраты на проектирование новых изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкарев П.Ю. Планирование технологических процессов в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем. Теоретические основы разработки подсистем планирования маршрутов технологических операций: учеб. пособие / П.Ю. Бочкарев, А.Н. Васин. Саратов: СГТУ, 2004. 136 с.

2. Принципы создания АСТПП многономенклатурных производственных систем механообработки / П.Ю. Бочкарев, В.В. Шалунов, А.В. Кочадаев, А.В. Пластинкин // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2007): тез. докл. 7-й Междунар. конф. / Ин-т проблем управления РАН. М., 2007. С. 59-60.

3. Протяжки для обработки отверстий / Д.К. Маргулис, М.М. Тверской, В.Н. Ашихмин и др. М.: Машиностроение, 1986. 232 с.

**Яковлева Анна Михайловна** –  
аспирант кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов»  
Саратовского государственного технического университета

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК 616.31-085:534,321.9

**Н.В. Булкина, В.В. Масумова, Н.А. Вулах, А.Ю. Кропотина,  
Е.Н. Полосухина, В.Т. Поделинская**

### **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ СЛОЖНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЯХ В СТОМАТОЛОГИИ**

*Представлены данные о применении ультразвука в стоматологии, его параметры и характеристики, механизм действия на живые ткани.*

**N.V. Bulkina, V.V. Masumova, N.A. Vulach, A.U. Kropotina,  
E.N. Polosuhina, V.T. Podelinskaya**

### **CHARACTERISTIC FEATURES OF THE USAGE OF ULTRASOUND AT COMPLICATED PHYSICO-CHEMICAL REACTIONS IN STOMATOLOGY**

*This article reveals the information of ultrasound usage in Stomatology, it's own parameters and characteristics and actions on organisms.*

Сегодня ультразвук завоевал огромную популярность во многих областях медицины, в том числе и в стоматологии. Неслышимые «звуки» – ультразвуки – впервые были получены в 1899 году Konig. В 1917 году при проведении опытов с ультразвуком Langevin обратил внимание на неблагоприятное действие ультразвука на живые организмы, что послужило причиной широкого изучения биологических свойств ультразвука, и были определены параметры ультразвука, при соблюдении которых не наблюдалось повреждающего действия ультразвука на живые организмы. С 1945 года началось применение ультразвука с лечебной целью. К 1960-м годам накопились многочисленные экспериментальные и клинические данные по применению ультразвука для лечения многих заболеваний.

В последнее время появилось огромное количество работ, отражающих широкое применение ультразвука в стоматологии. Ультразвук используется в следующих областях стоматологии: диагностика стоматологических заболеваний неинвазивными методами (эхоостеометрия, ультразвуковая доплерография), пародонтология (безболезненное удаление зубных отложений, микромассаж тканей, ультрафонофорез), ортопедическая стоматология (снятие искусственных коронок и других ортопедических конструкций, удаление штифтов из корневых каналов), терапевтическая стоматология (малоинвазивные методики препарирования кариозных полостей, пломбирование, антисептическая обработка корневых каналов активированными ультразвуком растворами, удаление отломков эндодонтических инструментов и штифтов из корневых каналов, эндодонтическая хирургия), профилактика стоматологических заболеваний (ультразвуковая зубная щетка «Ultrasonex»), дезинфекции и очистка стоматологического инструментария.

Ультразвук – механическое колебание частиц среды, распространяющееся в виде волн в слышимом акустическом диапазоне частот свыше 20 кГц. Действующим началом ультразвука является механическая энергия приходящих в колебательное движение частиц среды, которая передается в виде упругих продольных волн, вызывающих попеременно то сжатие, то растяжение среды. В зави-

симости от интенсивности колебаний ультразвук, вызывая сложные физико-химические реакции в тканях, может оказывать различное действие на организм: повреждающее (мгновенное механическое разрушение клеток и клеточных структур, обусловленное кавитацией, что клинически проявляется в виде разрывов и некрозов тканей), угнетающее, стабилизирующее, нормализующее (интенсивность воздействия  $0,005-0,4 \text{ Вт/см}^2$  при частоте колебаний  $800 \text{ кГц}-3 \text{ МГц}$ ), противовоспалительное, рассасывающее, регенераторное (интенсивность воздействия  $0,05-0,4 \text{ Вт/см}^2$  при экспозиции 3-5 минут).

При проведении эхоостеометрии используют ультразвуковые колебания с частотой  $0,8-20 \text{ МГц}$ , направленные узким пучком.

Для физиотерапевтического воздействия можно использовать ультразвуковые волны с низкой ( $20-60 \text{ кГц}$ ) и средней ( $600-1000 \text{ кГц}$ ) частотами колебаний. При воздействии ультразвука на ткани происходит изменение белковых структур, высвобождение биологически активных веществ, изменяется скорость диффузии и осмоса различных веществ в тканях. В результате этого ультразвук оказывает противовоспалительное, обезболивающее, рассасывающее, десенсибилизирующее, бактерицидное, бактериостатическое действие, стимулирует регенерацию эпителиальных тканей, влияет на иммунологическую реактивность организма.

Ультразвук улучшает абсорбционные свойства и проницаемость кожи и слизистых оболочек для лекарственных веществ. Ультрафонофорез проводят при интенсивности воздействия ультразвука  $0,2-0,4 \text{ Вт/см}^2$  с частотой  $800 \text{ кГц}$  в течение 3-5 минут ежедневно или через день.

Для ультразвуковой обработки корневых каналов используют частоту колебаний  $1500 \text{ Гц}$  и  $3000 \text{ Гц}$  (Sonic Air Micro Meg), работая в режиме  $25-30 \text{ кГц}$ .

Наиболее широко ультразвук применяется в пародонтологии. Для удаления зубных отложений применяют ультразвуковые аппараты – генераторы высокочастотных колебаний, к колебательному контуру которых подключен магнитострикционный преобразователь, генерирующий ультразвук. Использование пьезоэлектрического эффекта позволяет получить механические колебания от  $800 \text{ кГц}$  до  $3 \text{ МГц}$ . Ультразвуковые аппараты передают ультразвуковые колебания на рабочие насадки (наконечники-скейлеры) с частотой колебаний  $20-35 \text{ кГц}$  (магнитострикционные) и  $40-60 \text{ кГц}$  (пьезоэлектрические). Использование ультразвука позволяет заменить ротационные движения стоматологических инструментов на менее травматичные осциллирующие, практически не повреждающие здоровые ткани.

Магнитострикционные скейлеры (Cavitron, Dentsply, США) создают эллиптические движения кончика инструмента с частотой  $25-30 \text{ кГц}$ . Наконечник активен во всех направлениях, что может вызвать травму окружающих зуб мягких тканей. При работе наконечника выделяется значительное количество тепла (температура тканей повышается на  $45^\circ$ , вызывая болезненную реакцию), что требует применения водяного охлаждения.

Пьезоэлектрические скейлеры (Piezon Master 400, Piezon Master 600, EMS, Швейцария; Supra-son P-Max, Satelec, Франция) вибрируют линейно с частотой  $25-40 \text{ кГц}$  (Piezon Master 400) и  $27,5-32 \text{ кГц}$  (Piezon Master 600). Наконечник активен только в двух направлениях, равномерно распределяя энергию колебаний и снижая возможность травмирования и перегрева тканей, обеспечивая безболезненность процедуры.

Ультразвук создает истинную кавитацию – разрыв среды с образованием полостей в местах разрежения (наблюдается при амплитуде колебаний кончика скейлера  $70-100 \text{ мкм}$ ) и акустический поток у кончика инструмента, что усиливает очищающий эффект и повышает губительное влияние ультразвука на бактерии.

Наконечник аппарата Vector совершает горизонтальные и вертикальные колебательные движения (с частотой колебаний  $25 \text{ кГц}$ ), в результате чего энергия колебательных движений перераспределяется на окружающие ткани, полностью устраняя болезненность во время процедуры удаления зубных отложений, что усиливает мотивацию пациентов к лечению, способствуя снижению заболеваемости населения кариесом, гингивитом и пародонтитом – наиболее распространенными стоматологическими заболеваниями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боровский Е.В. Эндодонтия / Е.В. Боровский // Терапевтическая стоматология. Обезболивание, отбеливание, пломбирование, эндодонтия. М.: АО «Стоматология», 2005. С. 181-189.
2. Данилевский Н.Ф. Заболевания пародонта: атлас / Н.Ф. Данилевский, Е.А. Магид, Н.А. Мухин. М.: Медицина, 1993. С. 87, 224.

3. Заболевания пародонта / под ред. проф. Л.Ю. Ореховой. М.: Поли Медиа Пресс, 2004. С. 132-134, 299-300.
4. Иванов В.С. Заболевания пародонта / В.С. Иванов. М.: МИА, 1998. С. 107-108, 198-200.
5. Кучумова Е.Д. Инструменты для удаления зубных отложений / Е.Д. Кучумова, Я.В. Стюф, М.К. Шулепова // Пародонтология. 1999. № 3. С. 27-33.
6. Пародонтит / под ред. проф. Л.А. Дмитриевой. М.: МЕДпресс-информ, 2007. С. 340-344.
7. Улащик В.С. Ультразвуковая терапия / В.С. Улащик, А.А. Чиркин. Минск: Беларусь, 1983. 255 с.
8. Цепов Л.М. Диагностика и лечение заболеваний пародонта / Л.М. Цепов, А.И. Николаев. М.: МЕДпресс-информ, 2002. С. 46, 139-140.
9. Шумской А.В. Современные ультразвуковые технологии в лечении заболеваний пародонта / А.В. Шумской // Пародонтология. 2008. № 4. С. 30-34.
10. Hahn R. Использование Vector-терапии в комплексном лечении заболеваний пародонта / R. Hahn // Пародонтология. 2009. № 3. С. 67-71.

**Булкина Наталия Вячеславовна –**

доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой «Терапевтическая стоматология» Саратовского государственного медицинского университета Росздрава им. В.И. Разумовского

**Масумова Вера Валентиновна –**

кандидат медицинских наук, ассистент кафедры «Терапевтическая стоматология» Саратовского государственного медицинского университета Росздрава им. В.И. Разумовского

**Вулах Наталья Александровна –**

кандидат медицинских наук, ассистент кафедры «Терапевтическая стоматология» Саратовского государственного медицинского университета Росздрава им. В.И. Разумовского

**Кропотина Анна Юрьевна –**

кандидат медицинских наук, ассистент кафедры «Терапевтическая стоматология» Саратовского государственного медицинского университета Росздрава им. В.И. Разумовского

**Полосухина Елена Николаевна –**

кандидат медицинских наук, ассистент кафедры «Терапевтическая стоматология» Саратовского государственного медицинского университета Росздрава им. В.И. Разумовского

**Поделинская Виктория Тадеушевна –**

студентка  
Саратовского государственного медицинского университета Росздрава им. В.И. Разумовского

УДК 621.7.014.2; 621.829

**Ю.М. Зубарев, В.М. Петров, В.А. Никитин, Д.Г. Летенко, А.В. Федосов**

**РЕШЕНИЕ ЧАСТНЫХ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ  
ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ ЗА СЧЕТ НАНОСТРУКТУРИЗАЦИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД**

*Определены задачи, возлагаемые на технологические жидкости и смазочные материалы, применяемые в энергомашиностроении. Представлен классификатор активных препаратов используемых в жидких смазочных материалах и техноло-*

*гических жидкостях. Приведена модель, описывающая механизм работы углеродных фуллероидных наномодификаторов в трибосопряжениях и СОТС.*

**J.M. Zubarev, V.M. Petrov, V.A. Nikitin, D.G. Letenko, A.V. Fedosov**

**DECISION OF PRIVATE TRIBOTECHNICAL  
POWERMACHINEBUILDING PROBLEMS DUE  
TO NANOSTRUCTURIZATION TECHNOLOGICAL ENVIRONMENTS**

*The paper sets out the tasks assigned to the technological fluids and lubricants used in power engineering. Submitted classifier active drugs used in liquid lubricants and process fluids. A model describing the mechanism of carbon fulleroid nanomodifiers in coupling and SOTS.*

**Состояние вопроса.** Ведущая роль в ускорении научно-технического прогресса отводится машиностроению как базе совершенствования техники и технологии, повышения производительности труда и качества продукции. Развитие и совершенствование современного энергетического оборудования предполагает применение новых конструкционных материалов, обладающих высокими эксплуатационными свойствами, большой удельной прочностью, коррозионной стойкостью, жаростойкостью и другими специальными свойствами. Между тем возможности материаловедов в создании принципиально новых материалов в настоящее время весьма проблематичны. Новый виток в развитии материаловедческой базы возможен с участием нанотехнологий, суть которых заключается в использовании наноразмерных материалов, способных изменять (модифицировать) свойства широко известных конструкционных и триботехнических материалов.

Наноструктуры могут представлять собой кластеры, волокна, пленки, нанокристаллические кристаллы, т.е. объекты с размерами от долей нанометра до 100 нм хотя бы в одном измерении. Основное отличие наночастиц от компактного материала – в высокоразвитой удельной поверхности, что предопределяет наличие большей доли атомов, пребывающих на границе раздела фаз, чем в объеме, а это приводит к существенным топологическим ограничениям коллективных процессов, связанных с электронами, фононами и т.д., что и наделяет наночастицы свойствами, отличными от микро- и макрообъектов.

Однако нанотехнологии требуют разработки новых технологических приемов, и это относится в первую очередь к получению наноматериалов с заданными свойствами, контролю их качества; разработки методов совмещения наноматериала с основой; исследования зависимостей эксплуатационных свойств модифицированных материалов от концентрации наночастиц. Именно это определяет актуальность настоящей работы, связанной с экспериментальными исследованиями влияния процессов наноструктуризации различных технологических сред, используемых в энергомашиностроении, с помощью наномодификаторов на их эксплуатационные характеристики.

Для уменьшения изнашивания контактирующих поверхностей и снижения сил трения в трибосопряжениях применяют различные *смазочные материалы (СМ)* (термин включен ГОСТ 18283-72), подаваемые в зону контакта на поверхности трения.

Основная цель введения СМ в трибосопряжения заключается в создании в зоне трения преимущественно жидкостного трения, т.е. скольжение поверхностей трения деталей сопряжения заменяется скольжением жидкости со своими реологическими свойствами. Кроме того, присутствие СМ в зоне трения существенно снижает потери на трение и практически исключает износ. В качестве СМ различают следующие виды: жидкие (ЖСМ) (моторные, трансмиссионные, промышленные, гидравлические и технологические); пластичные (ПСМ) и твердые (ТСМ). При этом каждый из видов СМ характеризуется основными параметрами.

**Классификация и основные характеристики активных препаратов, применяемых к ЖСМ.** Основные виды функциональных присадок, применяемых при производстве ЖСМ и ПСМ, следующие: вязкостные или загущающие, корректирующие вязкостно-температурную характеристику; увеличивающие параметры маслянистости – антифрикционные, противоизносные и противозадирные присадки; депрессорные; приработочные; антиокислительные; антикоррозионные; моющие (дисперги-

рующие) присадки; противопенные; консервационные и др. [1, 4]. Однако все эти функциональные присадки к маслам определяют работу трибосопряжений, как правило, в штатных условиях гидродинамического трения и не учитывают реальное состояние поверхности узлов трения механизма. Они применяются одинаково как для новых, так и для сильно изношенных механизмов, хотя условия смазывания для различных стадий эксплуатации металлорежущего оборудования сильно различаются.

Любой трибологический узел машины включает три составляющих, две из которых – сопрягаемые поверхности контакта, третья – пленка смазывающего материала, разделяющая эти поверхности [1, 4]. Присадка к ЖСМ определяет свойства только масляной пленки, и она мало влияет на свойства поверхностей трения. Антифрикционный препарат (АП), вводимый в смазочные материалы, принципиально не должен изменять свойств смазки, область его работы – поверхности трения. Обработка узла трения АП меняет показатели качества работы трибосопряжения: волнистость, шероховатость, микротвердость и твердость, фазоструктурный состав, величины коэффициентов трения, значения износа, усилия задира, а также изменяет геометрию и регулирует зазоры в сопряжении. Использование АП может быть эффективным способом управляющего воздействия на характеристики трения и параметры качества трибосопряжения [1, 4].

В настоящее время насчитывается несколько десятков наименований АП, отличающихся по механизмам действия [1, 3, 4]. Представленные на рынке АП применяются чаще всего в редукторах, коробках передач и двигателях внутреннего сгорания автотранспорта. При этом классификация подобных препаратов достаточно условна. Оправдано разделение препаратов по структуре входящих в АП активных составляющих, свойствам и характеру действия основных компонент, оказывающих воздействие на поверхности трения деталей машины [3].

Среди групп АП следует выделить: металлосодержащие; препараты на базе хлорпарафиновых соединений; политетрафторэтилен (ПТФЭ)-содержащие; содержащие серпентинит (геомодификаторы трения) эпиламные (эпиламоподобные); металлоорганические; содержащие дисульфид молибдена и *углеродсодержащие (карбоновая группа)*. Наиболее перспективными АП, применяемыми в смазочных и антифрикционных материалах, в настоящее время являются наномодификаторы карбоновой группы – *фуллероидные наномодификаторы (ФН)*: фуллереновая сажа, фуллерены, нанотрубки, астралены и т.д. [2, 3]. В рамках статьи более подробно рассмотрены фуллероидные наномодификаторы.

**2. Механизм работы углеродных фуллероидных наномодификаторов в трибосопряжениях.** Наиболее перспективными АП, применяемыми в смазочных и антифрикционных материалах, в настоящее время являются наномодификаторы карбоновой группы – *фуллероидные наномодификаторы (ФН)*: фуллереновая сажа, фуллерены, нанотрубки, астралены [3]. Эти материалы представляют собой новую аллотропную форму углерода, отличающуюся от графита и алмаза. Отличительной особенностью данной формы является  $Sp^2 - Sp^3$  гибридизации внешних электронных оболочек и, как следствие, специфические физико-химические свойства [2, 3]:

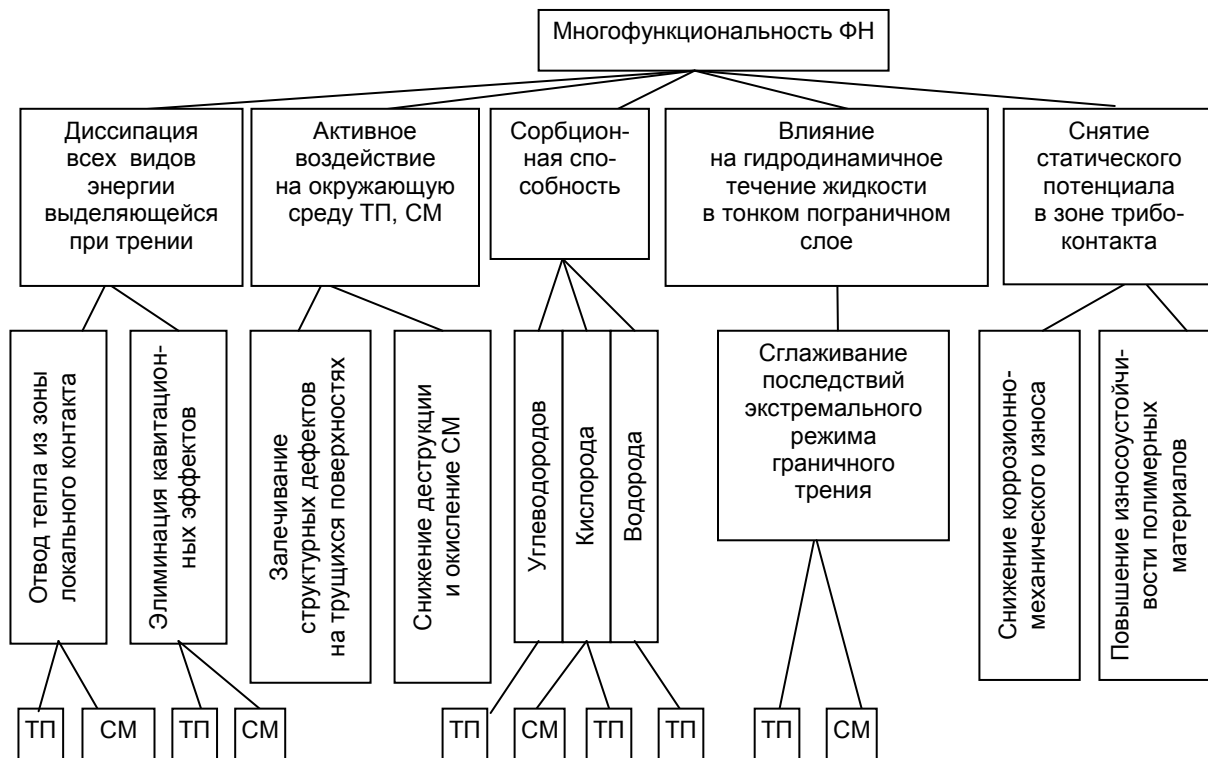
- значительная сорбционная активность, связанная с высокой кривизной поверхности, и, как следствие, наноразмерность частиц, обладающих большой нескомпенсированной поверхностной энергией.

- высокая поляризуемость частиц и их способность выстраиваться в цепочки со значительными тепло- и электропроводностью, что обеспечивается наличием электронных облаков из делокализованных  $p$ -электронов.

Результатом этих физико-химических свойств является многофункциональность действия ФН (рисунки).

В процессе эксплуатации машины на трибосопряжения воздействуют все виды энергии, что приводит к изменению их параметров и характеристик изделия в целом. Фуллероидные наночастицы, в силу особенностей строения электронной оболочки, аккумулируют её в виде возбужденных состояний электронов. В последующем диссипация этой энергии происходит за счет испускания низкоэнергетичных фононов [2], не способных вызвать разрушение материала трущихся поверхностей или молекул смазки. Являясь центрами возникновения кавитационных пузырей, они воспринимают энергию кавитационного удара и уменьшают кавитационный износ.

Наличие электронной оболочки из делокализованных  $p$ -электронов и высокая нескомпенсированная поверхностная энергия предопределяют способность «залечивать» структурные дефекты поверхностного слоя металлов в трибоконтakte. Поляризуемость обеспечивает связывание с дефектом и его консервацию.



Модель комплексного влияния АП ФН в ЖСМ на материалы в зоне трения и, как следствие, формирование параметров качества в ходе работы трибосопряжения

ФН способны образовывать цепочки и, как следствие, собственную сетку на поверхности, удерживающую оболочку из адсорбированных молекул компонентов смазки, и доставлять их в зону трения, когда наступает истощение их в зоне трибоконтакта из-за десорбции с металлической поверхности. Таким образом, ФН препятствуют адгезионному изнашиванию трущихся металлических поверхностей. Высокая теплопроводность ФН способствует снижению температуры в зоне трения и предотвращению изменения физико-химических и физико-механических характеристик как смазочной среды, так и поверхностей трения материалов. При этом обеспечивается общее повышение устойчивости смазочного материала к окислению в присутствии ФН.

В процессе работы углеводородного материала в качестве смазочного в результате его деструкции в объеме масла накапливается водород, способный, адсорбируясь на поверхности металла, диффундировать в его объем; при этом резко снижаются механические свойства материала. Подготовленные специальным образом фуллероидные материалы способны конкурировать в отношении сорбции водорода с металлом, причем сорбционная способность их на порядок выше. Тем самым происходит протекторная защита металла от водородного воздействия (водородного охрупчивания металла).

Присутствие ФН в ЖСМ способствует снижению абразивного износа твердыми оксидами металла, которые появляются в трибосопряжениях из-за присутствия молекулярного кислорода в СМ. Однако ФН является хорошим сорбентом кислорода, причем сорбция носит характер хемсорбции, которая в зоне трибоконтакта при максимальных температурах завершается реакцией образования углекислого газа, что приводит к общему снижению кислорода в объеме масла и, как следствие, к замедлению роста оксидных пленок до толщин, способных к самоотслоению из-за различия коэффициентов термического расширения.

### Выводы

1. На основе анализа литературных данных и результатов собственных экспериментов представлена классификация основных АП, входящих в состав СМ, которая позволяет разделить АП: по

структуре входящих активных составляющих, свойствам и характеру действия основных компонентов на поверхности трения. Разработанная классификация позволила выделить основные классы современных АП, применяемых в СМ. На основании этого в зависимости от условий трения произведена разработка новых СМ, обладающих заданными антифрикционными свойствами применительно к режимам граничного или сухого трения.

2. Дан анализ АП на базе ФН, которые из-за своих уникальных физико-химических и физико-механических свойств могут на современном этапе рассматриваться как наиболее перспективные АП при инжиниринге поверхности трения как с точки зрения модификаторов СМ, так и модификаторов покрытий, конструкционных и триботехнических материалов и технологических жидкостей.

3. На основе оценки физико-механических и физико-химических характеристик фуллероидных наномодификаторов и собственных испытаний триботехнических материалов, покрытий и СМ, содержащих АП ФН, разработана модель влияния свойств данных материалов на параметры процесса трения, износа и эксплуатационные параметры качества деталей трибосопряжения.

4. С помощью инструментальных и аппаратных средств количественно и качественно оценено воздействие активных АП ФН на показатели качества поверхностей трения и параметры работы трибосопряжения. В целом подтверждены отдельные выдвинутые гипотезы и правомерность модели о положительном влиянии данных препаратов на процесс трения, что позволяет рассматривать создание на их базе управляемых активных сред.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко Ю.В. Восстанавливающие антифрикционные препараты / Ю.В. Гончаренко, В.М. Петров, А.Ю. Шабанов. М.: Русэкотранс, 2003. 40 с.

2. Пат. РФ № 2196731, 20.12.2003. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа / Пономарев А.Н., Никитин В.А.

3. Петров В.М. Управление процессами контактного взаимодействия элементов трибосопряжений машин и технологических систем путем применения активных сред: дис. ... доктора техн. наук: 05.02.04 / В.М. Петров; СПбГПУ. СПб., 2005. 337 с.

4. Шабанов А.Ю. Очерки современной автохимии. Мифы и реальность? / А.Ю. Шабанов. СПб.: Иван Федоров, 2004. 216 с.

**Зубарев Юрий Михайлович** –

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Технология машиностроения»,  
ректор Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ ВГУЗ)

**Петров Владимир Маркович** –

доктор технических наук, профессор, декан технологического факультета  
Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ ВГУЗ)

**Федосов Андрей Викторович** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения»  
Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ ВГУЗ)

**Никитин Владимир Александрович** –

кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия»  
Санкт-Петербургского института машиностроения (ЛМЗ ВГУЗ)

**Литенко Дмитрий Георгиевич** –

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика»  
Северо-Западного государственного заочного технического университета,  
г. Санкт-Петербург



УДК 616.31, 621.793

**В.Н. Лясников, А.К. Нефёдова, И.Э. Черникова, О.А. Дударева****ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ  
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ БИОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ  
ЭЛЕКТРОПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ**

*Дано описание формирования биокomпозиционных наноструктурированных покрытий методом электроплазменного напыления, приведена структурная схема напыления. Рассмотрены биоактивные материалы, используемые в производстве дентальных имплантатов, представлена морфология титанового и гидроксиапатитового покрытий.*

**V.N. Lyasnikov, A.K. Nefedova, I.E. Chernikova, O.A. Dudareva****FORMATION OF NANOSTRUCTURED BIOCOMPOSITE COATINGS  
BY PLASMA-SPRAYING METHOD**

*This article describes the formation of nanostructured biocomposite coatings by plasma-sprayed method, it has structural diagram of spraying. We studied bioactive materials, which used in manufacturing of dental implants. The morphology of titanium and hydroxyapatite coatings is presented.*

В настоящее время широким фронтом ведутся научно-практические работы по созданию, комплексному исследованию и клиническому применению внутрикостных имплантатов, а также современных имплантационных биосовместимых материалов [1-5].

Известно, что ни один из биоматериалов, применяемых для изготовления имплантатов, не обладает всеми свойствами биологической ткани. В то же время композиты, в состав которых входит несколько типов материалов, обладающих различными свойствами, позволяют максимально приблизиться к естественным биологическим тканям по биологическим, физико-химическим, механическим и другим свойствам.

С целью достижения фиксации и длительного функционирования имплантата в кости на его поверхность наносят различными методами специальные биоактивные покрытия. Для этой цели наибольшее применение нашли плазменные технологии.

В качестве биоактивных материалов в настоящее время широко используются гидроксиапатит (ГА), трикальцийфосфат (ТКФ), стеклокерамика с активной компонентой и другие, а также их композиции с различными металлами и сплавами [1, 2, 6]. Важным фактором в этом случае является высокая механическая прочность металлической основы имплантата в сочетании с высокими биологическими свойствами покрытия, непосредственно контактирующего с живой костной и мягкой тканью. Кардинальное улучшение качественных характеристик биопокровтий достигается оптимизацией технологических режимов электроплазменного напыления [7]. В этом случае удается сформировать наноструктурированное биопокровтие.

Благодаря оптимальному подбору режимов электроплазменного напыления и ультразвукового воздействия на подложку и напыляемые частицы порошка в плазменной среде получается определенным образом сформированное наноструктурированное биокomпозиционное покрытие. Такое покрытие обладает улучшенными медико-биологическими и физико-механическими свойствами [8].

На кафедре материаловедения и высокоэффективных процессов обработки СГТУ создана целая гамма внутрикостных дентальных имплантатов с наноструктурированными биокomпозиционными плазмонапыленными покрытиями на основе гидроксиапатита (рис. 1).

Известно, что структура плазмонапыленных покрытий достаточно сложна и состоит из множества агломератов, отдельных частиц, закрытых и открытых пор, сложным образом соединенных между собой, а также макро- и микротрещин, образовавшихся при релаксации остаточных напряжений.

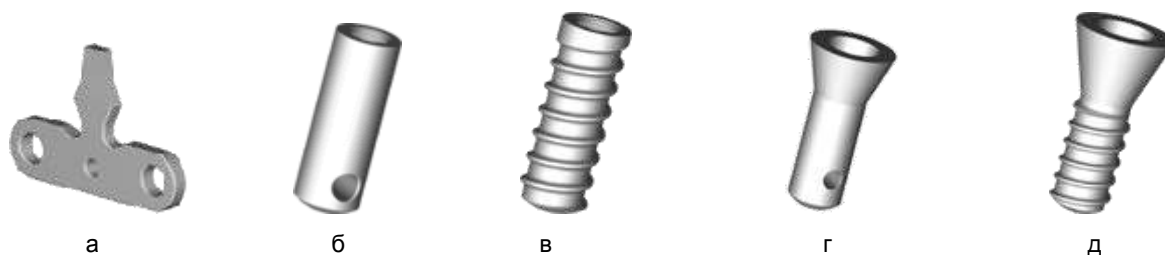


Рис. 1. Имплантаты, созданные в СГТУ на кафедре МВПО:  
 а – имплантат пластинчатый; б – имплантат цилиндрический гладкий; в – имплантат цилиндрический винтовой; г – имплантат конусный гладкий; д – имплантат конусный винтовой

Повышение эффективности остеоинтеграции внутрикостных имплантатов с биопокрытиями может быть достигнуто путем формирования структуры их поверхностных слоев из наноагломератов при электроплазменном напылении за счет воздействия ультразвукового поля на напыляемый материал [9].

Под воздействием ультразвука в жидких средах возникает кавитация, приводящая к образованию микропузырьков. Поскольку в момент контакта с основой напыляемые частицы находятся в той или иной степени проплавления, в них также возникают кавитационные процессы ультразвукового поля. Поэтому развитие кавитации является фактором, который вызывает образование пористой структуры покрытия на колеблющейся основе в виде микропор. В этом случае поры будут представлять застывшие каверны, образовавшиеся при возникновении и закрытии пузырьков кавитации в расплавленном материале частиц.

Технологическая схема электроплазменного напыления порошкового биокomпозиционного наноструктурированного покрытия на дентальные имплантаты приведена на рис. 2.



Рис. 2. Структура технологического процесса плазменного напыления покрытий

Таким образом, результаты исследований и клинического применения эндоосальных имплантатов позволяют считать конструкцию имплантатов с многослойным плазмонанпыленным биокomпозиционным покрытием высокоэффективной, которая создает оптимальные условия для долговременной устойчивой фиксации имплантата в костной ткани.

В настоящее время НПА «Плазма Поволжья» имеет разрешение Минздравмедпрома РФ на серийное производство и клиническое применение комплекса имплантатов и инструментария (система КИСВТ-СГТУ-01), а также сертификат соответствия. Выпускаемые изделия поставляются по договорам в клиники Саратова, Москвы, Самары, Ростова, Воронежа и других городов России. Клини-

ческие наблюдения за установленными имплантатами в течение 1995-2008 гг. показали высокий уровень приживляемости, доля явлений отторжения имплантатов составила менее 2%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Применение плазменного напыления в производстве имплантатов для стоматологии / В.Н. Лясников, В.В. Петров, В.Р. Атоян, Ю.В. Чеботаревский; под ред. В.Н. Лясникова. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1993. 40 с.
2. Новые концепции в технологии, производстве и применении имплантатов в стоматологии: тез. докл. Междунар. конф. Саратов, 15-18 июня 1993 г. Саратов: СГТУ, 1993.
3. Севастьянов В.И. Биосовместимые материалы медицинского назначения / В.И. Севастьянов // Перспективные материалы. 1995. № 5. С. 41-45.
4. Леонтьев В.К. Биологически активные синтетические кальцийсодержащие материалы в стоматологии / В.К. Леонтьев // Стоматология. 1996. № 5. Т. 75. С. 4-6.
5. Трофимов В.В. Исследование биологической совместимости гидроксиапатита / В.В. Трофимов // Стоматология. 1996. № 5. Т. 75. С. 20-22.
6. Линков Леонард И. Без зубных протезов / Леонард И. Линков. СПб., 1993. 288 с.
7. Лясников В.Н. Построение математической модели плазменного напыления порошковых материалов / В.Н. Лясников, Б.Ф. Рыженко // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. 1979. № 5. С. 64-70.
8. Внутрикостные стоматологические имплантаты / Н.В. Протасова, А.В. Лясникова, А.В. Лепилин, В.Н. Лясников. Саратов: СГТУ, 2002. 113 с.
9. Бекренев Н.В. Формирование покрытий плазменным напылением с ультразвуковым диспергированием пруткового материала / Н.В. Бекренев, Д.В. Трофимов, А.В. Лясникова // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2003.

**Лясников Владимир Николаевич** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»  
Саратовского государственного технического университета

**Нефёдова Анна Константиновна** –  
аспирант, ассистент кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»  
Саратовского государственного технического университета

**Черникова Ирина Эдуардовна** –  
студентка Саратовского государственного технического университета

**Дударева Олеся Александровна** –  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»  
Саратовского государственного технического университета

УДК.621.388.002

**В.Н. Лясников, И.В. Перинская, В.В. Перинский, В.О. Вашурин**

**ПРИМЕНЕНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ АРГОНА  
ПРИ СОЗДАНИИ УЛЬТРАДИСПЕРСНОЙ НАНОМОДИФИЦИРОВАННОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ**

*Приведены результаты экспериментов по ионно-лучевой пассивирующей обработке ряда переходных металлов и титана марки ВТ1-0, используемого в том числе для изготовления дентальных имплантатов.*

V.N. Lyasnikov, I.V. Perinskaya, V.V. Perinsky, V.O. Vashurin

## USING ION IMPLANTATION OF THE ARGON FOR CREATION ULTRADISPERSION NANOMODIFIED SURFACES OF TITANIUM IMPLANTS IN STOMATOLOGY

*The broughted results experiment on ion-beam passivation processing the row connecting metal and titanium of the mark VT1-0, used including for fabrication stomatology implants.*

### Введение

По отношению к полупроводникам ионная имплантация применяется почти исключительно для изменения их электрических свойств. Что касается металлов, то в этом случае на первый план выдвигаются задачи изменения их механических и химических характеристик.

Ионная имплантация существенно изменяет рабочие характеристики поверхностей металлоизделий, повышая их прочность и износостойкость, сопротивление окислению и коррозии, понижая коэффициент трения [1, 4].

Одним из материалов для создания ортопедических имплантатов является титан – наиболее часто используемый материал в имплантологии благодаря его прочности и биосовместимости. Большинство ортопедических имплантатов, таких как искусственные стоматологические, бедренные и коленные суставы, имеют срок службы от 10 до 15 лет, что создает необходимость многократного повторения операции для замены изношенных протезов [2]. Титановая шаровая опора, двигающаяся в полиэтиленовом стакане в среде тканевой жидкости, быстро разрушается. Исследования показали [3], что имплантация замедляет износ титанового сплава, контактирующего с полиэтиленом, почти в 1000 раз.

Однако в литературе нет сведений о модификации свойств титана марки VT1-0, наиболее предпочтительного для имплантатов, облучением ионами инертных газов, в том числе ионами  $Ar^+$ , хотя можно предположить, что для достижения высокой микротвердости, износостойкости, химической инертности достаточно создания новых структурных модификаций и ионного перемешивания введением радиационных дефектов и энергетического воздействия на обрабатываемый титан.

Цель данной работы – исследование влияния имплантации ионов  $Ar^+$  на твердость и химическую стойкость титана VT1-0 в зависимости от дозы облучения; моделирование механизмов образования наноструктурированных биопокрытий.

### Методика эксперимента

Образцы представляют собой пластины заготовок для стоматологических имплантатов, вырезанные из листа в состоянии поставки после проката (марка VT1-0). Образцы полировались и химически обезжиривались. Облучение ионами аргона с полированной стороны проводилось на установке ионного легирования «Везувий-5» с параметрами, определенными из спектра масс ионного источника и масс-сепаратора до интегральной дозы  $3000-5000 \text{ мкКл/см}^2$  в вакууме  $\sim 10^{-4}$  мм. рт.ст.

Концентрация элементов на поверхности и в имплантированном слое исследовалась методом вторично-ионной масспектрометрии с расчетной скоростью ионного травления  $\sim 4-5 \text{ нм} \cdot \text{мин}^{-1}$ . Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3, вдавливанием алмазной пирамидки при нагрузке 20 г. Морфологию поверхности и кристаллическую структуру титана в зависимости от дозы облучения изучали с помощью электронного микроскопа УЭМВ-АК с электронно-графической приставкой, а также растрового электронного микроскопа (ПЭ-РЭМ), предназначенного для наблюдения наноструктур – JSM-6701F.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Титан VT1-0 исследуемого состава и применяемый для изготовления имплантатов, относится к классу «титан технический». Увеличение микротвердости при облучении титана ионами аргона имеет вид, соответствующий представлениям [4], что увеличение микротвердости при ионно-лучевой обработке связано с образованием радиационных дефектов, закрепляющих дислокации.

Исследование элементного состава поверхностных и подповерхностных слоев методом ВИМС показывает, что в результате ионной имплантации аргона происходит распад оксидов, увели-

чивается концентрация свободного кислорода и значительно повышается концентрация углерода и углеродсодержащих соединений (углеводородов), причем концентрация углерода вырастает и в приповерхностном слое титана (таблица).

Элементный состав по данным ВИМС

Элемент, соединение	Масса, а.е.м.	Содержание, отн. ед.		Относительное приращение
		исходный	облученный	
C	12	500	700	1,2
CH	13	$5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	1,0
CH <sub>2</sub>	14	190	230	1,2
CH <sub>3</sub>	15	250	300	1,2
O(CH <sub>4</sub> )	16	180	220	1,2
H <sub>2</sub> O	18	300	700	2,3
N <sub>2</sub> (CO)	28	1600	4700	2,9
O <sub>2</sub>	32	18	13	0,7
CO <sub>2</sub>	44	250	750	3,0

Одновременно повышается структурное совершенство имплантированных поверхностей титана.

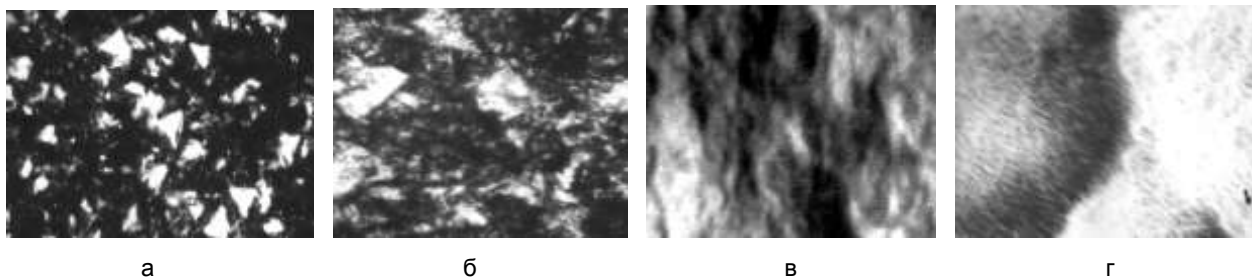
Сопоставление данных, полученных для титана, с результатами испытаний химической активности других металлов, имплантированных ионами химически инертных примесей, свидетельствует о качественно близком характере происходящих изменений. Эффект пассивации воспроизводим, слабо зависит от энергии в диапазоне 60-120 кэВ и уменьшается в области энергий < 40 кэВ. Наблюдаемая динамика структурных изменений интерпретируется следующим образом: вначале формировалась аморфная фаза в исходной поликристаллической структуре при дозе  $\Phi = 10^{15} \text{ см}^{-2}$ , на электронограммах появляются микровключения и точечные включения при  $\Phi \sim 1,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ , блочная структура с системой микровключений возникает при  $\Phi \sim 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . При этом химическая пассивация пропорциональна плотности микровключений.

Таким образом, структура поверхности исходного титана в виде разупорядоченных поликристаллов при имплантации аргона проходит стадии уменьшения размера зерен вплоть до возникновения аморфной фазы с последующим зарождением поликристаллических включений, увеличением их концентрации.

Согласно предложенной модели пассивации титана ионно-лучевая обработка синтезирует на его поверхности защитную наноразмерную беспористую углеродную пленку.

Исследование морфологии этого синтезированного образования с воспроизводимыми макросвойствами увеличения химической и коррозионной стойкости и износостойкости в диапазоне доз ионов аргона  $1000 \div 4000 \text{ мкКл/см}^2$  проводили с использованием растрового электронного микроскопа высокого разрешения с холоднополевой эмиссией, предназначенного для наблюдения наноструктур – JSM-6701F. Поверхностная морфология синтезированного образования весьма сильно зависит от дозы ионов  $\text{Ag}^+$  и электрического потенциала на подложке. При дозах ионов  $\Phi < \Phi_0$  ( $\Phi_0$  – пороговая доза пассивации) и отсутствии потенциала на подложке получается микрокристаллическая пленка с наиболее заметными треугольными гранями {111} (рисунок а). Грани зерен {100}, имеющие близкую к прямоугольнику форму, начинают появляться, укрупняться при увеличении дозы ионов аргона и наложении электрического потенциала на титановую подложку во время имплантации (рисунок б).

При дозах облучения  $\Phi > 3500 \text{ мкКл/см}^2$  кристаллическая морфология алмазоподобного покрытия титана исчезает и проявляется морфология (рисунок в), которая предполагает наличие в пленке совокупности нанокристаллов графита. Это морфология «цветной капусты», типичная для алмазных пленок, выращиваемых плазмохимическим методом. Поскольку в нанобъектах поверхность преобладает над объемом (если понимать поверхность как слой толщиной  $\sim 10 \text{ нм}$ ), то при их исследовании необходимо выбирать особые режимы работы электронного микроскопа. Идеальным прибором для исследования нанобъектов из углеродных материалов, имеющих характерный предполагаемый размер порядка 5-10 нм, оказался ПЭ-РЭМ, т.е. растровый электронный микроскоп с холоднополевой (или термополевой) автоэмиссионной электронной пушкой [5], на котором стало возможным наблюдение нанорельефа углеродной алмазоподобной пассивирующей пленки на поверхности ИЛО титана с разрешением 15 нм (рисунок г).



а – типичный вид микрокристаллической углеродной пленки на титане ( $E = 75$  кэВ,  $\Phi = 2000$  мкКл/см<sup>2</sup>);  
б – типичный вид микрокристаллической алмазоподобной углеродной пленки на Ti при  $E = 75$  кэВ,  
 $\Phi = 2500 \div 3500$  мкКл/см<sup>2</sup>; в – нанокристаллическая пленка, на которой наблюдается морфология  
«цветной капусты» ( $\times 10000$ ); г – морфология нанокристаллической углеродной алмазоподобной  
пассивирующей пленки на поверхности ИЛО титана ( $\times 250000$ )

Таким образом, физическая модель эффекта химической пассивации металлов, в т.ч. титана, в части синтеза на имплантированной поверхности ультрадисперсного углеродного наноразмерного покрытия подтверждается экспериментальными исследованиями на ПЭ-РЭМ.

### Заключение

Впервые исследована дозоэнергетическая зависимость эффекта пассивации титана VT1-0 и соответствующая ему наноразмерная морфология поверхности. Эффект пассивации качественно одинаков для «тонких» слоев Ti, Cu, Al, Cr и открывает возможность его технологических применений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Перинский В.В. Ионно-лучевые методы обработки материалов в технологии приборостроения: учеб. пособие / В.В. Перинский, Б.А. Маренко, В.Н. Лясников. Саратов: СГТУ, 1995. 43 с.
2. Углеродные нанотрубки позволят создать улучшенные имплантаты. Томас Уэбстер. artuykhov@Eternalmind.ru 02.10.2007, 2 с.
3. Kocerer F.J. Weav Reduction and sliding behavior of various substrates obtained by implantation of nitrogen and carbon jous / F.J. Kocerer, H. Petersein, H. Ranke // Thin Solid Films. 1989. № 181. P. 505.
4. Влияние параметров облучения ионами Si<sup>+</sup> и Ag<sup>+</sup> на механические свойства и состав поверхностных слоев титанового сплава / П.В. Быков, Ф.З. Гильмутдинов, А.А. Колотов, В.Я. Баянкин // Известия Академии наук. Серия физическая. 2004. Т. 68. № 3. С. 443-446.
5. Иванов С.А. Применение электронной микроскопии для исследований наноматериалов и наноприборов / С.А. Иванов // Оборудование, технологии и аналитические системы для материаловедения микро- и нанoeлектроники: труды V Российско-Японского семинара. Саратов, 2007. Т. 1. С. 14-32.

**Лясников Владимир Николаевич** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»  
Саратовского государственного технического университета

**Перинская Ирина Владимировна** –  
ассистент кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»  
Саратовского государственного технического университета

**Перинский Владимир Владимирович** –  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»  
Саратовского государственного технического университета

**Вашурин Виталий Олегович** –  
студент  
Саратовского государственного технического университета



## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

---

УДК 001.89:681.3

**А.Г. Александров, М.Ф. Степанов, Л.С. Михайлова, Т.М. Брагин, А.М. Степанов**

### **РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ГАММА-3**

*На основе анализа задач, решаемых проектировщиками систем управления, предлагается подход к построению средств автоматического решения задач теории управления, базирующийся на формализации знаний о методах решения задач теории управления, многоуровневом представлении знаний и использовании средств автоматического планирования действий.*

**A.G. Alexandrov, M.F. Stepanov, L.S. Michailova, T.M. Bragin, A.M. Stepanov**

### **THE DEVELOPMENT TO CONCEPTS OF THE AUTOMATIC DECISION OF THE TASKS TO THEORIES OF CONTROL IN SYSTEM GAMMA-3**

*On base of the analysis of the task, solved designers of controll system is offered approach to building of the facilities of the automatic decision of the tasks to theories of control, based on formalizations of the knowledges about method of the decision of the tasks to theories of control, layered presentation of the knowledges and uses of the automatic planning action.*

Данная работа посвящена развитию предложенного в [1] подхода к созданию распределённых систем автоматического решения задач теории автоматического управления. На основе анализа состояния проблемы автоматизации построения закона управления разрабатываемой системы автоматического управления (САУ) выделены две категории специалистов [1]: высококвалифицированные ученые-исследователи, занимающиеся разработкой новых методов анализа и синтеза САУ, и инженеры-проектировщики, занимающиеся разработкой конкретных САУ. Введённая классификация основана на различии в предметах изучения – алгоритм (последовательность действий) решения задачи и результат решения задачи ТАУ – закон управления САУ, удовлетворяющий заданным требованиям. Соответственно, различаются и средства автоматизации решения задач. Если для исследователей требуются Матлаб-подобные средства, позволяющие решать задачи по известному алгоритму, задаваемому программой на проблемно-ориентированном входном языке, то для проектировщиков нужны средства, позволяющие решать задачи в непроцедурной постановке, что уже требует привлечения методов искусственного интеллекта и формализации знаний о методах решения задач проблемной области теории управления. Предложенная концепция средств автоматизации получила воплощение в ряде программных средств [1], в которых выделяются «Среда исследователя» и «Среда инженера».

Однако указанный подход не вполне соответствует сложившейся реальности. В частности, не учитывался тот факт, что среди общего числа задач, решаемых инженерами-проектировщиками в «Среде инженера», доля типовых задач значительно превосходит долю новых задач, которые они ставят непро-



цедурно. С другой стороны, типовые задачи не представляют профессионального интереса для исследователей, на которых возлагались функции расширения классов решаемых задач средств автоматизации посредством использования «Среды исследователя». Наконец, принципиальное различие в системной организации Матлаб-подобных средств решения типовых задач и интеллектуальных средств автоматического решения непроцедурно поставленных задач создаёт труднопреодолимые проблемы их комплексирования в одной системе. Так, в Матлаб-подобных системах данные слабо структурированы, более того, допускается использование отдельных матриц. В системах же автоматического решения непроцедурно поставленных задач используется открытое формализованное структурированное представление знаний проблемной области, например, в виде модели множества формализованных задач теории автоматического управления [2], как, например, в системе ИНСТРУМЕНТ-3м-И [4], используемое на этапе планирования действий по решению задачи пользователя. На этапе выполнения построенного плана решения задачи использованные на этапе планирования структуры знаний наполняются конкретными значениями, образуя данные текущей решаемой задачи. В результате возможно осуществить только чисто «механическое» соединение таких средств в едином комплексе, существенно снижая потенциальный рост функциональных возможностей объединённой системы.

В целом всё это обусловило необходимость дальнейшего развития концепции автоматического решения задач ТАУ [1] и её реализации в новом поколении средств автоматического решения задач, создаваемом на основе преемственности систем ГАММА-1М [2], ГАММА-2РС [3], ИНСТРУМЕНТ-3м-И [4], МИССАУ [5] и получившим обобщённое наименование «Система ГАММА-3».

Принципиальными отличиями системы ГАММА-3 от её предшественников-прародителей являются:

- использование трёхуровневого представления знаний и данных, базирующегося на введении структурных знаний (знаний о знаниях), разделении декларативных и процедурных знаний, явного использования процедур конструирования, наследования и означивания знаний и данных;
- системная организация в виде распределённой информационной системы, в состав которой входят клиентские приложения, осуществляющие интерактивное взаимодействие с пользователями, серверные приложения, обеспечивающие единое представление знаний и данных, а также их обработку в ходе решения задач пользователей [1];
- автоматическая генерация экранных форм для представления знаний и данных на основе имеющихся в системе структурных знаниях (знаний о знаниях).

Для системы ГАММА-3 можно выделить следующие категории пользователей:

- *Разработчики пакетов расширения* (научные работники, студенты вузов), которые используют систему для исследования и программной реализации различных методов решения инженерных задач. Они обладают хорошими знаниями теории и достаточными навыками в области программирования. Для них разработана *среда разработчика*, которая является средой разработки программ на проблемно-ориентированном языке ГАММА.

- *Пользователи-проектировщики*. Пользователи этой категории (инженеры), являясь специалистами в области проектирования конкретных систем, не обладают достаточно хорошими знаниями методов решения задач, кроме того, программная реализация этих методов не является их непосредственной задачей. Для таких пользователей создана *среда инженера*, которая предоставляет доступ к пакетам расширения системы, а также позволяет воспользоваться возможностью решения задач в непроцедурной постановке, используя интеллектуальные средства системы.

- *Исследователи-эксперты* (научные работники). Они обладают глубокими знаниями теории и способны формализовать знания проблемной области. Для таких пользователей создана *среда исследователя*, предоставляющая возможность пополнения базы знаний системы и проведения их исследований, используя способности планирующей подсистемы по решению новых задач.

Среда разработчика, среда инженера и среда исследователя представляют собой клиентские приложения распределённой информационной системы автоматического решения задач ГАММА-3. На рис. 1 отражена обобщённая структурная схема распределённой информационной системы автоматического решения задач ГАММА-3.

Приведённая на рис. 2 схема иллюстрирует порядок взаимодействия компонентов системы ГАММА-3. На рис. 3 приведена блок-схема, определяющая процесс расширения классов решаемых задач системы ГАММА-3.

Исследователь в среде исследователя, используя процедуру конструирования знаний, создаёт структурные знания (знания о структуре представления знаний), представляющие собой описание на языке ИНСТРУМЕНТ-П структур предметов, действий и отношений модели множества формализованных задач проблемной области [2]. Затем структурные знания посредством применения процедур наследования и означивания используются для построения на их основе элементов модели множества формализованных задач проблемной области [2].

Разработчик пакетов расширений в среде разработчика, используя элементы модели множества формализованных задач проблемной области, посредством применения процедур наследования и означивания формирует на проблемно-ориентированном языке ГАММА, являющемся развитием языка ИНСТРУМЕНТ+ [2], порядок действий по решению задач по известным процедурам. Каждая такая процедура позволяет решать некоторую задачу проблемной области. Однако её описание является параметризованным, т.е. вместо имён данных в неё указаны типы данных, в качестве которых выступают имена предметов и их компонентов.

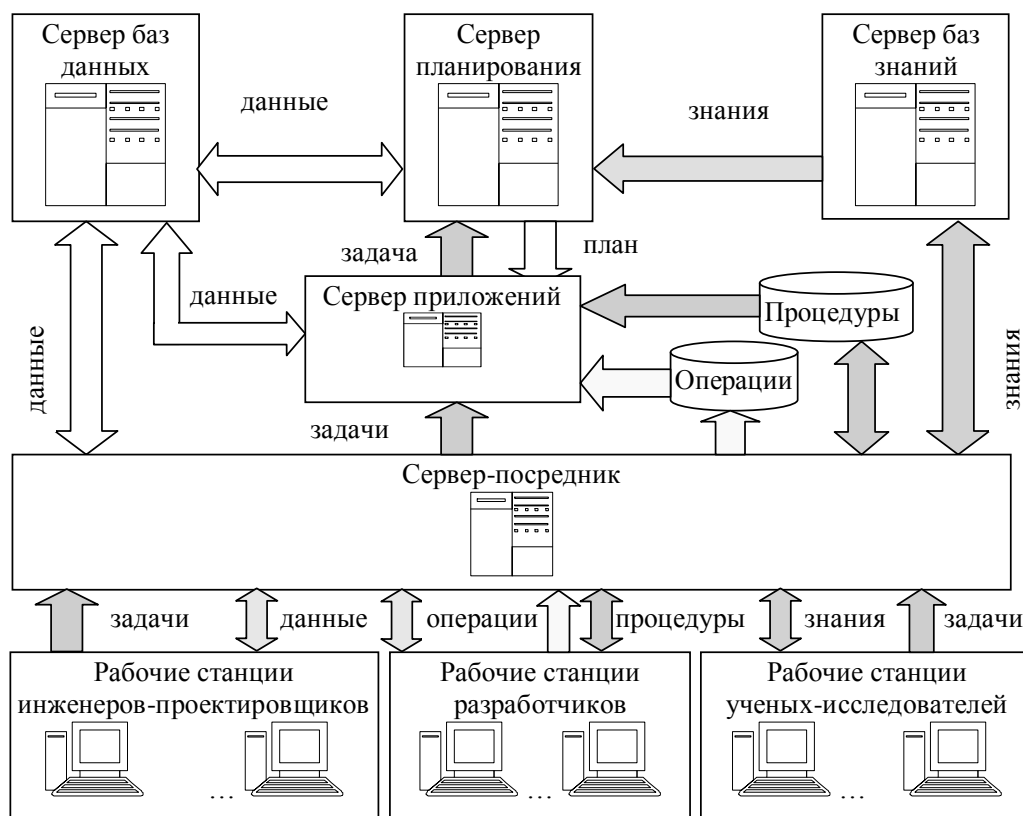


Рис. 1. Укрупнённая структурная схема распределённой системы автоматического решения задач ГАММА-3

Соответственно для задания постановки задачи, решаемой посредством такой процедуры, следует выполнить означивание параметров процедуры именами данных решаемой задачи. Это может сделать пользователь-разработчик с целью верификации построенной им процедуры, а также инженер-проектировщик, решая конкретную задачу. Используемые при этом данные должны быть предварительно занесены в базу данных. Для этого используется процедура наследования и означивания структур, описывающих предметы и их компоненты соответствующей модели знаний. Означенные структуры данных получают статус «факты» и хранятся в базе фактов. Означенные процедуры получают статус «задачи» и записываются в базу задач. Получение результата решения задачи осуществляется посредством выполнения действий, предусмотренных процедурой решения задачи над фактами, выступающими в качестве исходных данных задачи.

Инженер-проектировщик в среде инженера имеет возможность, используя процедуры наследования и означивания, построить на основе декларативных знаний системы ГАММА-3:

- данные для своих задач и занести их в базу фактов,
- формулировки задач, решаемых с помощью известных процедур посредством означивания аргументов процедур решения типовых задач именами своих данных из базы фактов;
- формулировки непроцедурно поставленных задач, заполняя атрибуты задачи (исходные данные, искомые результаты и требования к результатам) именами своих данных из базы фактов.

Для задачи, решаемой с помощью известной процедуры из базы действий (процедур), план её решения выбирается из базы знаний и отправляется на исполнение на сервер-интерпретатор планов на языке ГАММА. Результаты выполнения операций процедуры заносятся в базу фактов, откуда они доступны пользователю для визуализации.

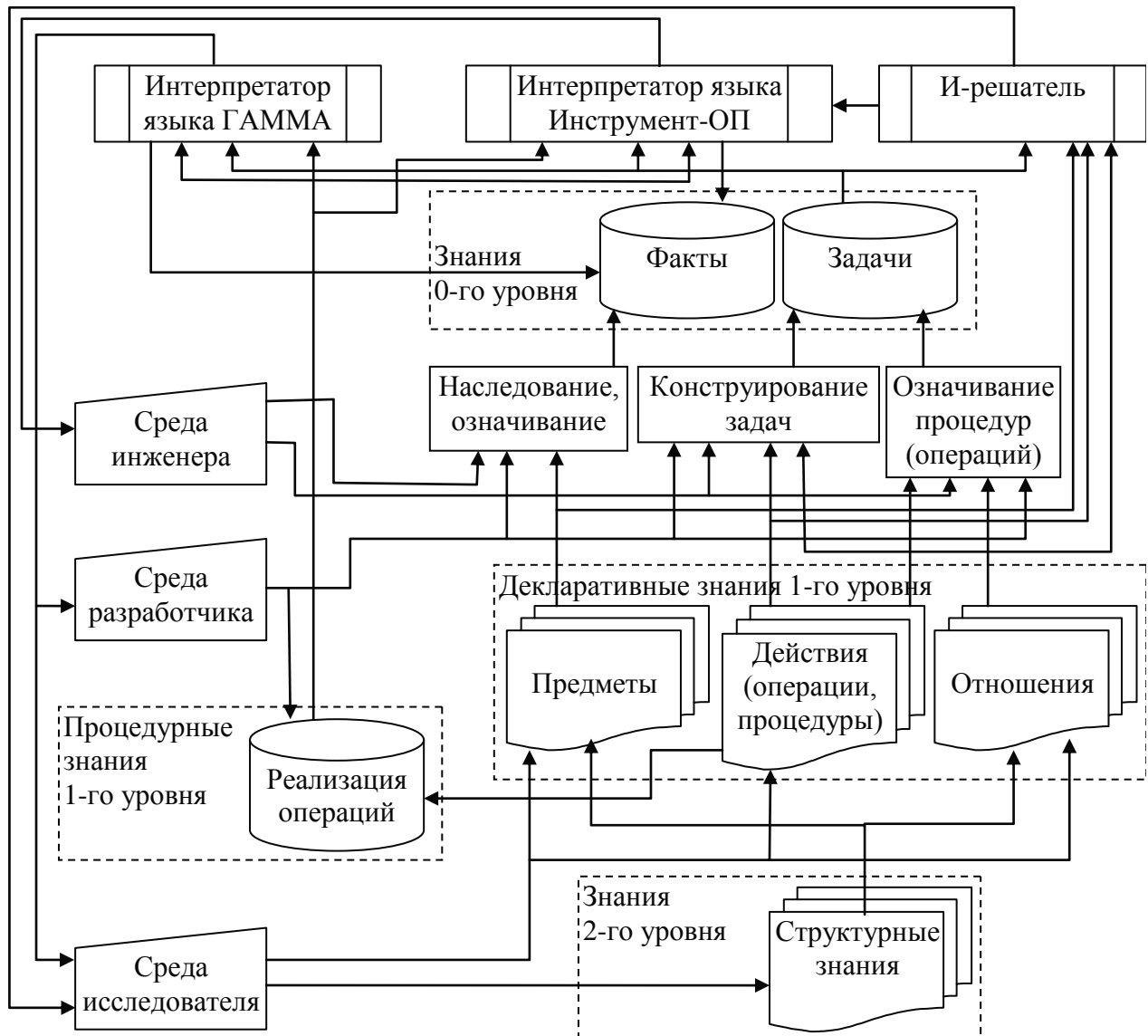


Рис. 2. Схема взаимодействия компонентов распределённой информационной системы автоматического решения задач ГАММА-3

Для случая непроцедурно поставленных задач подсистема планирования действий осуществляет абстрагирование от конкретной задачи, заменяя имена конкретных данных указанием их типов в соответствии с используемой моделью знаний. Для обобщённой формулировки задачи строится план её решения на языке ИНСТРУМЕНТ-ОП, который затем детализируется посредством подстановки имён данных (фактов) из исходной постановки задачи пользователем вместо соответствующих типов данных, фигурирующих в построенном плане её решения.

В системе ГАММА-3 вводится трёхуровневое представление знаний и данных (см. рис. 4). Знания 2-го уровня предназначены для задания структуры знаний 1-го уровня. Структурные знания задаются в виде текстовых описаний, которые определяют виды компонентов, используемых при описании типовых структур декларативных знаний. Так, например, декларативные знания представляются в виде модели множества формализованных задач [2], включающей, в частности, предметы как формализацию понятий предметной области, действия (операции), выполняемые над предметами и их компонентами, отношения, используемые для определения условий и требований в постановках задач. В качестве атрибутов предметов в модели знаний системы ИНСТРУМЕНТ-3м-И [5] используются свойства, характеристики и формы математических моделей. Введение новых, изменение видов существующих атрибутов не предусматривалось, что существенно ограничивало использование системы ИНСТРУМЕНТ-3м-И для автоматизации решения задач в других предметных областях, где атрибуты понятий отличаются от применяемых в теории автоматического управления.

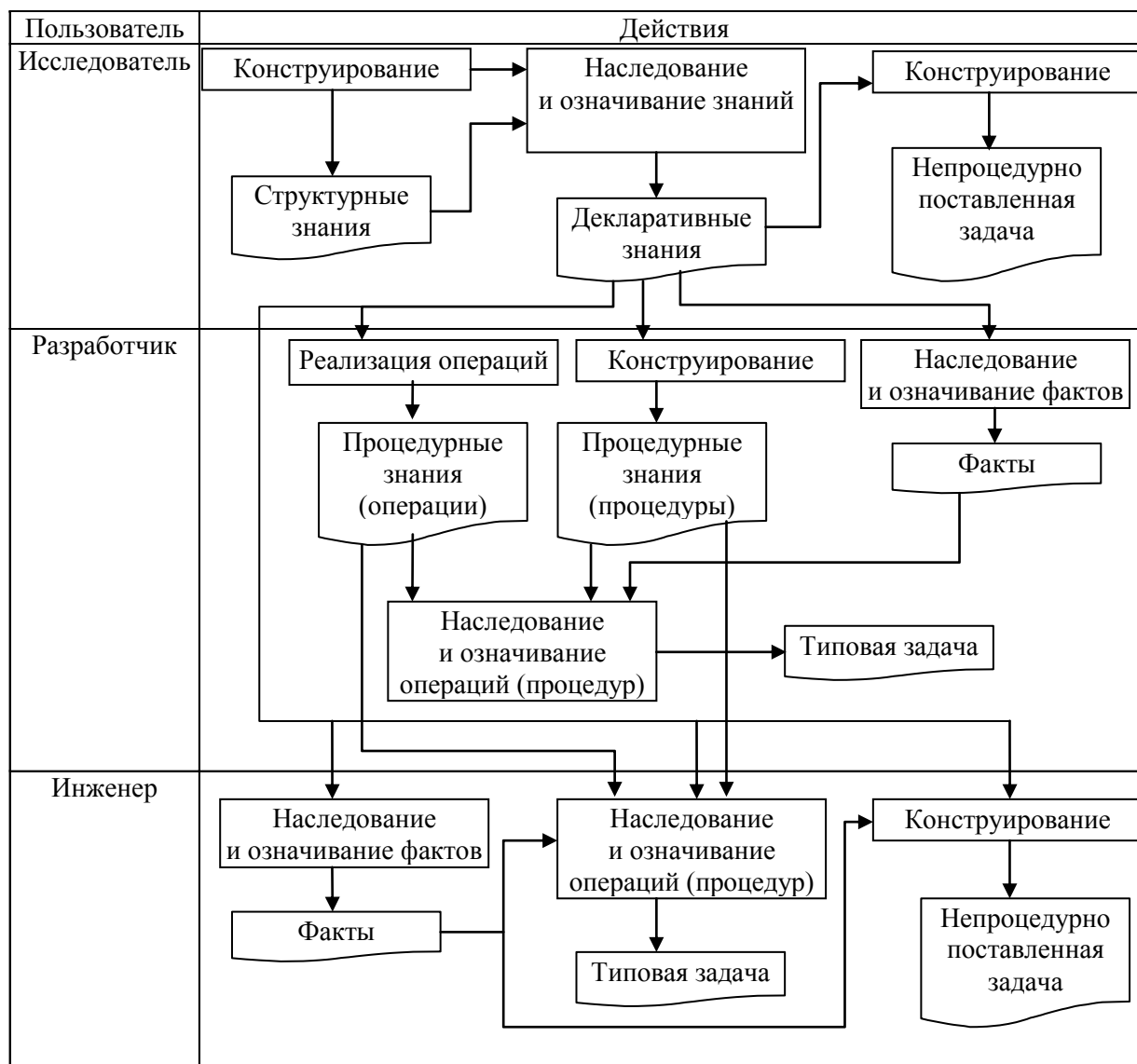


Рис. 3. Блок-схема процесса расширения классов решаемых задач системы ГАММА-3

Проект создания многофункциональной системы ГАММА предусматривает её использование для автоматизации решения задач в различных проблемных областях, что и обусловило необходимость введения структурных знаний. По существу, структурные знания задают терминологию языка, на котором затем описываются формализованные понятия предметной области. Структурные знания

определяют также состав атрибутов, используемых при описании действий. При этом описания действий и задач структурно имеют много общего, но и существенно отличаются. Так, например, действия (операции) модели знаний и решаемые задачи имеют почти одинаковый набор атрибутов, в который, в частности, в моделях знаний системы ИНСТРУМЕНТ-3м-И входят: условия применимости, исходные данные, искомый результат, требования к результату. При этом обязательное заполнение всех атрибутов не требуется. Так, например, описание постановки задачи, как правило, не включает условия применимости. Однако формируемые при этом текстовые описания фактически являются шаблоном или, иначе говоря, структурой данных. Указанная структура данных представляется в виде класса языка C++. При постановке и решении конкретных задач атрибуты этих структур данных должны быть заполнены значениями данных решаемой задачи. Заполненный шаблон представляет собой одну из возможных фактических реализаций соответствующего понятия предметной области, что уже соответствует нижнему – 0-му уровню представления данных. Здесь фактически производится порождение экземпляра класса соответствующего предмета.



Рис. 4. Трёхуровневое представление знаний в системе ГАММА

Одной из проблем, снижающих открытость системы ИНСТРУМЕНТ-3м-И [1], является предопределённость экранных форм представления информации. В данной работе рассматривается подход, позволяющий устранить указанный недостаток.

В целях обеспечения гибкости представления данных в системе ГАММА [2] вводятся языки описания структур данных и знаний ИНСТРУМЕНТ-П (описание предметов) и ИНСТРУМЕНТ-Ф (описание фактов). Описание данных (фактов в терминологии системы ГАММА) даёт необходимое описание, позволяющее автоматически построить экранную форму, обеспечивающую адекватную визуализацию. Для обеспечения большей гибкости используется LaTeX-подобный язык описания математических моделей (формул) компонентов предметов, отображаемых на экранной форме. В существующей версии в начале текстового описания формулы разработчик может указать размеры области экранной формы, на которой будет располагаться изображение формулы. В дальнейшем предлагается размеры изображения формулы определять автоматически.

Предлагаемый подход к визуализации данных позволяет снять проблему ограниченной открытости системы ИНСТРУМЕНТ-3м-И, в которой используются предопределённые экранные формы, несмотря на наличие возможности произвольно определять состав и структуру предметов модели множества формализованных задач [3], создаваемую пользователем-исследователем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-07-00200-а).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов М.Ф. Автоматическое решение задач теории автоматического управления: проблемы и перспективы / М.Ф. Степанов // Аналитическая теория автоматического управления и её приложения: сб. трудов 2-й Междунар. науч. конф. / под ред. В.А. Подчукаева. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2005. С. 31-39.
2. Степанов М.Ф. Автоматическое решение формализованных задач теории автоматического управления / М.Ф. Степанов. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2000. 376 с.

3. Александров А.Г. Структура программного обеспечения для автоматизации разработки алгоритмов автоматического управления / А.Г. Александров, Р.В. Исаков, Л.С. Михайлова // А и Т. 2005. № 4. С. 176-184.

4. Степанов М.Ф. Система автоматического синтеза систем автоматического управления ИНСТРУМЕНТ-3м-И (САС САУ ИНСТРУМЕНТ-3м-И) / М.Ф. Степанов. Свидетельство Роспатента об офиц. регистр. программы для ЭВМ. № 2003612369. 2003.

5. Степанов М.Ф. Интеллектуальные самоорганизующиеся системы автоматического управления / М.Ф. Степанов. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2002. 112 с.

**Александров Альберт Георгиевич** –

доктор физико-математических наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник

Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва

**Степанов Михаил Федорович** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая кибернетика и информатика»  
Саратовского государственного технического университета

**Михайлова Любовь Сергеевна** –

кандидат технических наук, доцент,

заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов»

Электростальского политехнического института МИСиС

**Брагин Тимофей Михайлович** –

аспирант кафедры «Техническая кибернетика и информатика»

Саратовского государственного технического университета

**Степанов Андрей Михайлович** –

аспирант кафедры «Системы искусственного интеллекта»

Саратовского государственного технического университета

УДК 658.562.011.012

**В.П. Бирюков, С. В. Мурин**

#### **АНАЛИЗ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОМ И ВЯЗКОСТЬЮ ВИСКОЗЫ**

*В работе решена задача синтеза многомерного регулятора содержания альфа-целлюлозы, щелочи и вязкости вискозы в производстве вискозных волокон, обеспечена его эффективность путем доработки технологического процесса как объекта управления.*

**V.P. Birjukov, C.V. Murin**

#### **THE ANALYSIS AND MAINTENANCE OF CONTROLLABILITY OF TECHNOLOGICAL PROCESS AS OBJECT OF MANAGEMENT OF STRUCTURE AND VISCOSITY OF VISCOSE**

*In work the problem of synthesis of a multidimensional regulator of the maintenance an alpha-cellulose, alkali and viscosity of viscose in manufacture of viscose fibres is solved, its efficiency by completion of technological process as object of management is provided.*

В [1] показано, что основным препятствием для создания эффективных систем управления качественными показателями полуфабрикатов и готовой продукции является неготовность технологических процессов к их разработке и внедрению, что выражается в несоответствии динамических характеристик технологических процессов как объектов управления спектральными характеристиками возмущающих воздействий и получаемой в результате этого низкой эффективности обратных связей систем управления.

В данной работе проводится синтез оптимального стохастического регулятора составом и вязкостью вискозы в производстве вискозных волокон и решение задачи повышения его эффективности.

**Актуальность задачи управления.** Анализ содержания альфа-целлюлозы в щелочной целлюлозе, альфа-целлюлозы и щелочи в вискозе, вязкости вискозы на производстве вискозного волокна показал, что коридоры колебания данных параметров в 2-3 раза превышают коридоры, допустимые технологическим процессом для получения высококачественной продукции [2]. Возможности традиционного для химико-технологических процессов подхода к обеспечению качественных показателей продукции путем повышения требований к стабильности характеристик исходных компонентов и технологического процесса исчерпаны и для обеспечения требуемой стабильности характеристик вискозы и готовой продукции необходима разработка эффективных систем управления.

**Функциональная схема исходного объекта управления.** На рис. 1 приведена функциональная схема объекта управления содержанием альфа-целлюлозы и вязкостью вискозы. Система включает технологические переходы химического цеха: мерсеризация М, предсозревание ПР, бункер-весы Б/В, ксантогенирование КС, растворение Р [3-5].

Основные возмущающие воздействия на содержание альфа-целлюлозы в вискозе приложены на начальной стадии процесса – на мерсеризации вследствие нестабильности состава исходной целлюлозы, нарушений дозировки исходной целлюлозы в мерсеризатор, большой ошибки оценки содержания альфа-целлюлозы в щелочной целлюлозе и на ксантогенировании, вследствие нестабильности дозировок сероуглерода, растворительной щелочи и умягченной воды. На вязкость действуют возмущения по нестабильности степени полимеризации и реакционной способности исходной целлюлозы, изменению продолжительности обработки реагентов на стадиях мерсеризации и предсозревания при изменении производительности, изменению концентрации бета целлюлозы в щелочной целлюлозе и констант кинетики деструкции щелочной целлюлозы. В качестве управляющих воздействий на состав вискозы используются объемы дозировок растворительной щелочи и воды на ксантогенировании, для управления вязкостью используется температура предсозревания [3-5].

Расширенная математическая модель объекта управления в пространстве состояния с учетом разложения моделей звеньев с транспортным запаздыванием в ряд Паде и формирующими фильтрами генерации возмущающих воздействий имеет вид [6]

$$\begin{cases} x[n+1] = Ax[n] + Bu[n] \\ y_v[n] = Cx[n] + Du[n] \end{cases} \quad (1)$$

Здесь:  $x$  – вектор-столбец параметров состояния размерностью  $n = 27$ ;  $u$  – вектор входных воздействий, включающий управляющие воздействия размерностью  $r = 3$   $u_1, u_2, u_3$  (дозировки щелочи и воды на ксантогенировании, температура деструкции щелочной целлюлозы) и случайный процесс типа белый шум размерностью  $f = 3$   $w_1, w_2, w_3$  для формирования возмущающих воздействий;  $y$  – вектор управляемых переменных размерностью  $m = 3$  (содержание альфа-целлюлозы и щелочи в вискозе, вязкость вискозы). Матрицы  $A, B, C, D$  приведены в [6].

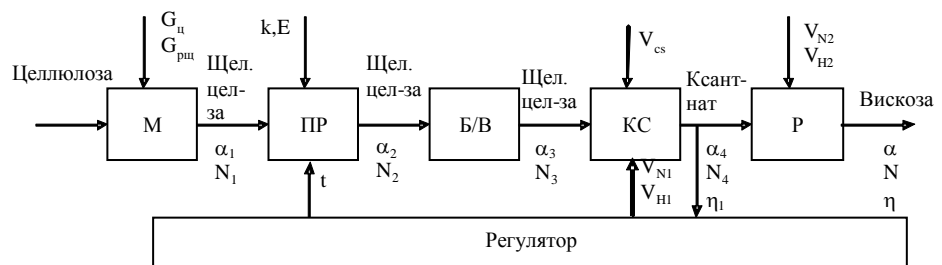


Рис. 1. Функциональная схема технологического процесса получения вискозы

**Синтез и анализ эффективности оптимального стохастического регулятора.** Произведенный синтез стохастического регулятора, включающего оптимальный фильтр для оценки состояния объекта управления в виде условного среднего при заданных значениях управляющих воздействий и наблюдений выходного сигнала, и оптимальный детерминированный регулятор, определяющий линейную обратную связь, по известной методике [7, 8] минимизации среднего значения квадратичного функционала для полностью управляемого и наблюдаемого объекта (9)

$$J(u) = E \sum_{n=1}^{\infty} (x[n]^T R_1 x[n] + u[n]^T R_2 u[n]), \quad (2)$$

где  $R_1, R_2$  – весовые матрицы вклада координат состояния объекта и мощности управляющих воздействий, позволил получить матрицу регулятора.

Анализ эффективности построенного регулятора методом математического моделирования работы системы в MatLab показал, что система управления уменьшает дисперсии регулируемых переменных по содержанию альфа-целлюлозы в вискозе в 1,74 раза, содержанию щелочи в вискозе в 1,32 раза, вязкости вискозы в 1,24 раза. При этом коридоры колебания по содержанию альфа-целлюлозы уменьшились с  $\pm 0,8$  до  $\pm 0,6\%$ , содержанию щелочи с  $\pm 0,6$  до  $\pm 0,5\%$ , вязкости вискозы с  $\pm 20$  до  $\pm 15$  с, что не удовлетворяет требованиям технологического процесса (рис. 2 а).

**Выявление возможных путей повышения эффективности системы.** Анализ взаимного расположения спектральных плотностей возмущающих воздействий и амплитудно-частотных характеристик замкнутой системы по возмущениям показал, что для всех регулируемых переменных эффективный диапазон работы системы, в котором  $|W_f(j\omega)| \leq 1$ , составляет  $f_{эф} = 0 \div 0.04$  1/п (отрабатываются

периодом  $T \geq 25$  партий). Площади под графиками спектральных плотностей возмущающих воздействий для замкнутой системы уменьшились. Но имеются сочетания частот, в которых  $K(\omega) \geq 1$ . В этих диапазонах поднялись [9].

Возможные пути повышения эффективности разрабатываются путем устранения части среднечастотных возмущений по содержанию частотного диапазона эффективной работы системы путем возмущению в более высокочастотную сторону за счет

управления путем устранения части возмущений на предыдущем этапе регулятора процессом мерсеризации с расширением области обеспечения отработки основного возмущения по недостающей части среднечастотных возмущений с системы управления

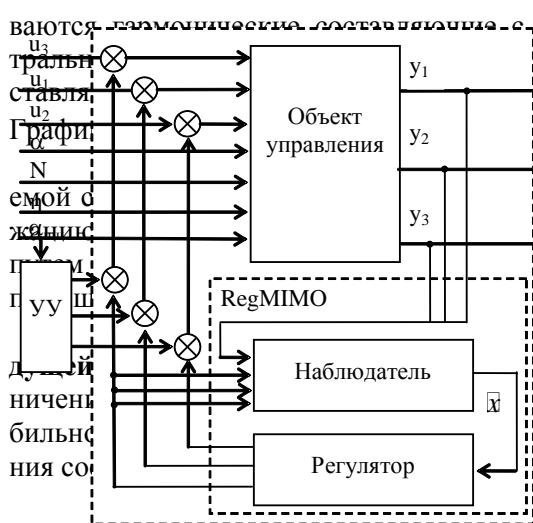


Рис. 2. Структурная схема комбинированной системы управления

**Повышение эффективности управления путем построения прямого канала управления и снижения транспортного запаздывания в канале управления вязкостью вискозы.** Существующий лабораторный анализ вследствие неоднородности щелочной целлюлозы не позволяет оценить содержание альфа-целлюлозы в щелочной целлюлозе на входе в ксантогенатор с требуемой для обеспечения управления по уравнениям материального баланса точностью. В работе выявлена зависимость продолжительности выгрузки щелочной целлюлозы из бункер-весов в ксантогенатор от содержания в ней альфа-целлюлозы, что позволило построить косвенную оценку содержания альфа-целлюлозы на основе регрессионного уравнения и построить прямой канал управления составом вискозы из растворителей.

Для повышения быстродействия замкнутой системы выявлена и использована оценка вязкости вискозы в зависимости от продолжительности выгрузки партии ксантогената из ксантогенатора в



растворитель при поддержании в процессе выгрузки постоянного потока ксантогената путем регулирования тока центрифуги. Это позволило уменьшить транспортное запаздывание по управляющему воздействию с 7 до 5 часов.

**Синтез комбинированного ЛКГ регулятора.** Для доработанного объекта управления с изменившимися спектральными характеристиками возмущающих воздействий и повышенным быстродействием канала управления вязкостью вискозы построена комбинированная система управления (рис. 2), включающая блок прямого управления УУ, в котором производится расчет корректировок управляющих воздействий  $\Delta u_1$ ,  $\Delta u_2$ ,  $\Delta u_3$  в зависимости от содержания альфа-целлюлозы в щелочной целлюлозе  $\alpha_{щц}$  и стохастический линейный регулятор.

Анализ рангов матриц управляемости и наблюдаемости показал, что доработанный объект управления управляем и наблюдаем.

Система управления для доработанного объекта управления уменьшает дисперсии регулируемых переменных по содержанию альфа-целлюлозы в вискозе в 3,32 раза (рис. 2 б), содержанию щелочи в вискозе в 2,98 раза, вязкости вискозы в 2,24 раза. При этом коридоры колебания по содержанию альфа-целлюлозы уменьшились с  $\pm 0,8$  до  $\pm 0,2\%$ , содержанию щелочи с  $\pm 0,6$  до  $\pm 0,2\%$ , вязкости вискозы с  $\pm 20$  с до  $\pm 10$  с, что удовлетворяет требованиям технологического процесса [9].

#### **Выводы**

Разработана многомерная система управления составом и вязкостью вискозы на основе линейного квадратичного регулятора с наблюдающим устройством на основе фильтра Калмана, эффективность которой обеспечена доработкой объекта управления путем устранения части среднечастотных возмущений путем стабилизации их на стадии мерсеризации, построения прямого канала управления составом вискозы и смещением амплитудной частотной характеристики в сторону больших частот за счет повышения быстродействий канала управления вязкостью вискозы.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Бирюков В.П. Расширенная задача управления технологическим процессом / В.П. Бирюков // Вестник СГТУ. 2005. № 3(8). С. 116-126.
2. Мурин С.В. Анализ статистических характеристик временного ряда вязкости вискозы / С.В. Мурин, В.П. Бирюков // Перспективные полимерные композитные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология: доклады Международной конференции «Композит-2007» / СГТУ. Саратов, 2007. С. 422-426.
3. Мурин С.В. Анализ вариантов управления составом вискозы / С.В. Мурин, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. / СГТУ. Саратов, 2007. С. 122-128.
4. Роговин З.А. Основы химии и технологии химических волокон. Т. I / З.А. Роговин. М.: Химия, 1974. 520 с.
5. Рязов А.Н. Технология производства химических волокон / А.Н. Рязов. М.: Химия, 1974. 512 с.
6. Мурин С.В. Разработка и исследование системы управления составом и вязкостью вискозы / С.В. Мурин, В.П. Бирюков // Вестник СГТУ. 2008. № 2 (32). Вып. 1. С. 78-86.
7. Перемутьер В.М. Пакеты расширения Matlab. Control System Toolbox и Robust Control Toolbox / В.М. Перемутьер. М.: САЛОН-ПРЕСС, 2008. 224 с.
8. Медведев В.С. Control System Toolbox / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. М.: Диалог МИФИ, 1999. 287 с.
9. Мурин С.В. Система управления составом и вязкостью вискозы в производстве химических волокон: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.В. Мурин. СПб.: СПбТИ(ТУ), 2008.

#### **Бирюков Владимир Петрович –**

доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета

#### **Мурин Сергей Валерьевич –**

доцент кафедры «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета

Т.А. Ефремова

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ  
ИМПУЛЬСНОГО ДЕЙСТВИЯ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

*Приведены экспериментальные исследования диаметра капель эмульсий, приготовленных при электрогидравлическом воздействии на жидкости в электрогидравлическом преобразователе импульсного воздействия. Построена факторная модель, определены оптимальные параметры, при которых достигается экстремум критерия оптимизации.*

T.A. Efremova

**MODELLING OF STATIC CHARACTERISTICS OF THE ELECTROHYDRAULIC  
THE CONVERTER OF PULSE ACTION BY THE METHOD OF PLANNING OF EXPERIMENT**

*In work experimental researches of diameter of drops emulshons prepared are resulted at electrohydraulic influence on a liquid in the electrohydraulic converter of pulse influence. The factorial model is constructed, optimum parametres are defined at which the extremum of criterion of optimisation is reached.*

Применение эффективных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) в технологическом процессе резания металлов выгодно отличаются от масел высокой охлаждающей способностью, возможностью длительного использования в циркуляционных системах, сравнительно низким расходом смазки, а иногда и лучшими антифрикционными свойствами [1]. В современной машиностроении предъявляются повышенные требования не только к функциональным, но и к экологическим свойствам СОТС, так как СОТС должно не только улучшать работоспособность инструмента и качество обработанной поверхности, но и не оказывать техногенного влияния на обслуживающий персонал и окружающую среду. В связи с этим при изготовлении СОТС стремятся уменьшить количество минерального масла и минимизировать, а иногда и исключить эффективные, но опасные для здоровья некоторые неорганические и органические компоненты СОТС. Одним из способов создания экологически чистых СОТС является минимизация количества требуемых СОТС, в частности это достигается активацией СОТС в процессе приготовления электрическими разрядами [2]. Электрическими методами в настоящее время получают эмульсию только в лабораторных условиях. Известно, что многие физико-химические свойства эмульсий зависят от размеров частиц и степени дисперсности. Невозможность контроля этих свойств в процессе эмульгирования серьезно тормозит развитие в этой области. Поэтому электрические методы заслуживают серьезного внимания, особенно для исследовательских целей. Эти методы позволяют также получать эмульсии обоих типов с меньшей концентрацией эмульгатора, чем посредством других методов.

В [3, 4] описаны конструкция и принцип действия электрогидравлического преобразователя импульсного действия (ЭГПИД), при помощи этого устройства существует возможность приготовления эмульсии типа масло-вода с концентрацией дисперсной фазы от 0,1 до 50% без применения поверхностно-активных веществ.

Целью настоящей работы является статистическая обработка результатов экспериментальных исследований ЭГПИД для оценки факторов влияющих на процесс измельчения компонент эмульсий, подбора оптимального режима приготовления и получения однородной стабильной гомогенной смеси. В [5] описана методика проведения экспериментальных исследований ЭГПИД приготовленных эмульсий.

Параметром оптимизации является диаметр капель эмульсии, приготовленной в ЭГПИД, значения которого приведены в табл. 1. В качестве изменяемых параметров выбраны:

$X_1$  – количество импульсов в ЭГПИД;

$X_2$  – процентное соотношение смешиваемых жидкостей;

$X_3$  – емкость конденсаторной батареи.

Интервалы варьирования, выбранные с учетом указанных в [6] условий, приведены в табл. 2, в которой также указаны значения верхнего (+1) и нижнего (–1) уровней факторов.

Таблица 1

Экспериментальные данные

Номер опыта	n, раз	V1/V2, доли	C, мкФ	d, мкм			
				1	2	3	4
1	10	0,4	2	13	13,3	12,9	13,1
2	30	0,4	2	11,1	11,2	11,4	11,2
3	10	0,6	2	10,8	10,9	10,8	10,5
4	30	0,6	2	9,2	9,5	9,3	9
5	10	0,4	4	8,4	8	7,8	8,3
6	30	0,4	4	7,5	7,3	7,7	7,6
7	10	0,6	4	7,4	7,8	7,5	7,4
8	30	0,6	4	6,5	6,3	6	6,6

Таблица 2

Уровни факторов и интервалы варьирования

Номер	Наименование фактора	Уровни факторов			Интервал варьирования
		–1	0	+1	
$\hat{X}_1$	Количество импульсов, раз	1	2	3	1
$\hat{X}_2$	Процентное соотношение, доли	0,4	0,5	0,6	0,1
$\hat{X}_3$	Емкость конденсаторной батареи, мкФ	2	3	4	1

Линейная модель ЭГПИД имеет вид

$$y = 9,232 - 0,67X_1 - 0,76X_2 - 1,85X_3.$$

По результатам проведенных расчетов можно сделать следующие выводы: все коэффициенты факторной модели имеют отрицательные значения, следовательно, увеличение числа импульсов, емкости конденсаторов и процентного соотношения жидкостей ведет к уменьшению диаметра капель приготовленной эмульсии. Особенное влияние на параметр оптимизации оказывает число импульсов в ЭГПИД так коэффициент  $b_1$  имеет наибольшее значение. Данные выводы соответствуют физической природе эксперимента.

При расчете доверительного интервала принят коэффициент Стьюдента для числа степеней свободы  $f = 3$ , равный 3,182.  $S(b_j)$  – квадратичная ошибка коэффициента регрессии (1).

$$S(b_j) = \frac{S^2(y_i)}{N} = +\sqrt{S^2(b_j)} = +\sqrt{0,04} = 0,2; \quad (1)$$

$$\Delta b_j = \pm 3,182 \cdot 0,2 = \pm 0,64.$$

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала:

$$|b_0| = 9,22; |b_1| = 0,67; |b_2| = 0,76; |b_3| = 1,85; \Delta b_j = 0,64.$$

Можно сделать вывод о том, что все коэффициенты значимы. Произведем расчет крутого восхождения. Составляющие градиента однозначно получаются умножением коэффициентов регрессии на интервалы варьирования по каждому фактору.

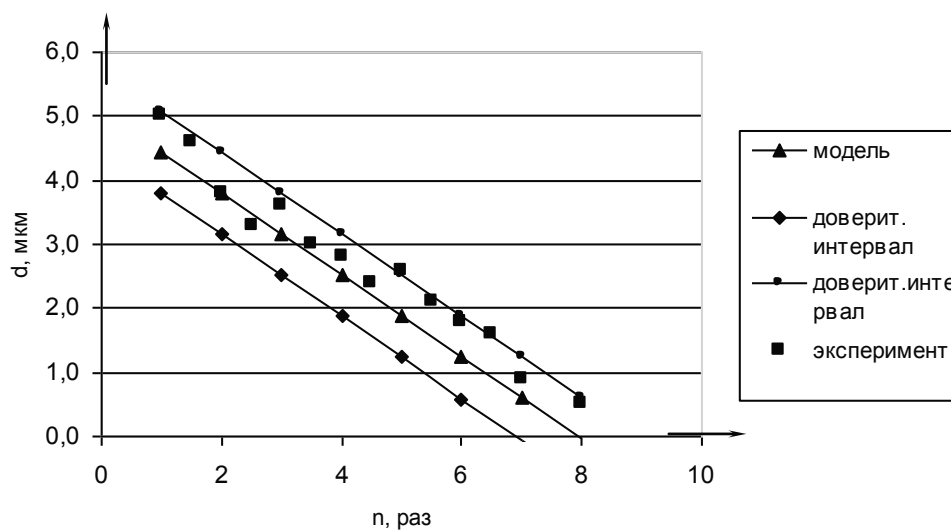
$$b_1 \cdot Y_1 = -0,67 \cdot 1 = -0,67; b_2 \cdot Y_2 = -0,76 \cdot 0,1 = 0,076; b_3 \cdot Y_3 = -1,85 \cdot 1 = -1,85.$$

Серия опытов в направлении градиента рассчитывается последовательным прибавлением к основному уровню факторов величин, пропорциональных составляющим градиента (табл. 3 – опыты 9-14).

Матрицы планирования, результаты и расчет крутого восхождения

Натуральные значения	$\hat{X}_1$	$\hat{X}_2$	$\hat{X}_3$	$Y^*$
Основной уровень	2	0,5	3	
Интервалы варьирования	1	0,1	1	
Верхний уровень	3	0,6	4	
5	-1	-1	+1	8,125
6	+1	-1	+1	7,525
7	-1	+1	+1	7,525
8	+1	+1	+1	6,35
$b_j$	-0,67	-0,76	-1,85	
$b_j \cdot Y_j$	-0,67	-0,076	-1,85	
Опыты 9	1,33	0,424	1,15	13,7896
10	0,66	0,348	-0,7	18,1180
11	-0,01	0,272	-2,55	22,5603
12	-0,68	0,196	-4,4	27,0026
13	-1,35	0,12	-6,25	31,4449
14	-2	0,044	-8,1	35,8872

Движение по градиенту оказалось недостаточно эффективным, так как реализация мысленных опытов на стадии крутого восхождения не привела к улучшению значения параметра оптимизации по сравнению с самым хорошим результатом в матрице планирования эксперимента. Принимаем решение для адекватной модели и близости области оптимума закончить исследование с выбором лучшего опыта. Выбрав лучший опыт из предыдущей серии опытов и проведя, таким образом, выбор оптимальных параметров при приготовлении эмульсий в ЭГПИД, провели повторный эксперимент для построения статической характеристики, которая представляет собой зависимость изменения диаметра капель эмульсии от количества импульсов в ЭГПИД. Статическая экспериментальная характеристика, а также факторная модель и доверительный интервал приведены на рисунке.



Факторная модель ЭГПИД по диаметру капель

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шумячер В.М. Физико-химические процессы при финишной абразивной обработке / В.М. Шумячер. М.: Машиностроение, 1988. 160 с.
2. Худбоин Л.В. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справочник / Л.В. Худбоин, А.П. Бабичев, Е.М. Булыжев. М.: Машиностроение, 2006. 544 с.

3. Ефремова Т.А. Экспериментальные исследования влияния емкости конденсаторной батареи на характеристики эмульсий, приготовленных в ЭГПВД / Т.А. Ефремова // Проблемы прочности, надежности и эффективности: сб. науч. тр., посвященный 50-летию БИТТиУ (филиал) СГТУ. Саратов, 2007. С. 215-219.

4. Ефремова Т.А. Экспериментальные исследования эмульсий, приготовленных в ЭГПВД / Т.А. Ефремова, В.В. Власов, А.В. Власов. Балаково, 2005. 14 с. Деп. В ВИНИТИ 18.11.2005, № 1510-В2005.

5. Ефремова Т.А. Разработка системы автоматического управления приготовлением двухфазных эмульсий на базе электрогидравлического преобразователя импульсного действия для технологического оборудования / Т.А. Ефремова // Вестник СГТУ. 2008. № 1 (30). Вып. 1. С. 40-46.

6. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркина, Ю.В. Грановский. М.: Наука, 1971. 283 с.

**Ефремова Татьяна Александровна** –  
кандидат технических наук,  
ассистент кафедры «Управление и информатика в технических системах»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

УДК 678.01:677.494

**А.С. Ивлева, С.В. Мурин**

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИОННОГО РЕЖИМА ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ ПАН ВОЛОКНА В ПРОИЗВОДСТВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН**

*Показана актуальность управления деформационным режимом процесса термостабилизации полиакрилонитрильного волокна в производстве углеродного волокна. Построена математическая модель изменения напряжения волокна при ступенчатой деформации.*

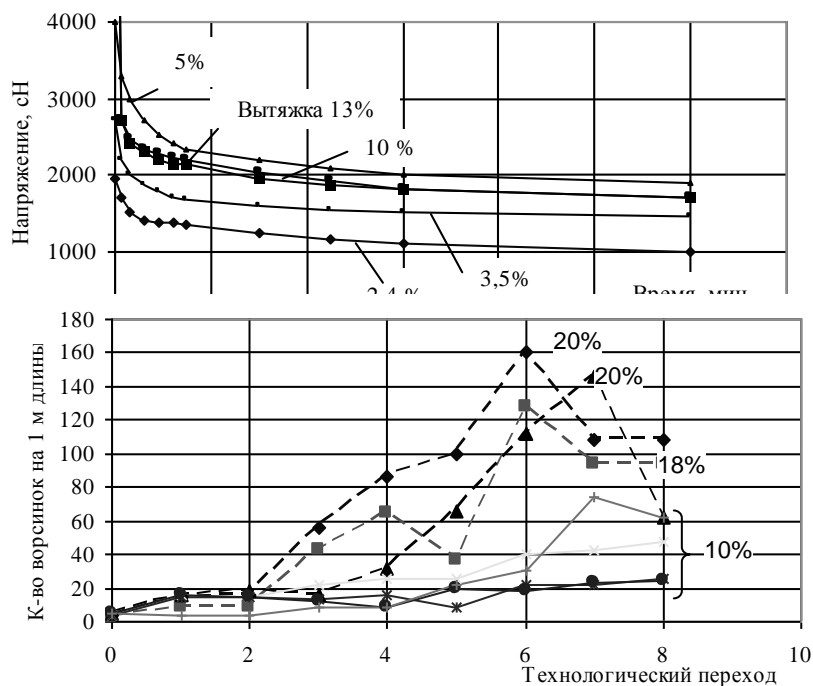
**A.S. Ivleva, S.V. Murin**

### **MATHEMATICAL MODEL OF THE DEFORMATION MODE OF OXIDATION PAN FILAMENT IN PRODUCTION OF THE CARBON FILAMENTS**

*In work the management urgency by a deformation mode PAN fibres in manufacture of a carbon fibre is considered. The mathematical model of change of pressure of a fibre is constructed at step deformation changes.*

Производство углеродных волокон (УВ) на основе полиакрилонитрила (ПАН) относится к числу быстро развивающихся отраслей. Их выпуск в 2006 г. составил 28 тыс. т, в 2007 г. производственные мощности возросли до 55,5 тыс.т, в 2008 г. достигли 66 тыс. т Восстановление отечественного производства углеродного волокна и вывод характеристик выпускаемого волокна на уровень лучших мировых образцов является актуальной задачей.

При термостабилизации ПАН волокна в процессе производства углеродного волокна идут сложные термомеханические процессы, связанные с релаксацией незащитой аморфной фазы полимера, образованием химической сетки при циклизации полимера и другими процессами, от которых в большой степени зависят структура получаемого волокна и его характеристики [1-4]. Поэтому выбор правильного деформационного режима в процессе получения углеродных волокон является важной научной задачей. При управлении деформационным режимом имеют место две задачи – выбор оптимального деформаци-



б

Рис. 1. Изменение напряжения волокна (а) и количества ворса на волокне (б) в зависимости от величины деформации

структуры полимера и падении ориентации. Напряжение химической сетки уменьшается, а напряжение физической сетки увеличивается. Это говорит о нарушении структуры полимера и падении ориентации. Данный механизм подтвердился и при исследовании релаксационных кривых ПАН волокна японского производства. При вытяжках до 7,5% сохраняется пропорциональное увеличение напряжений физической и химической сеток. При дальнейшем увеличении вытяжки эта закономерность нарушается и напряжение волокна падает, что также говорит о падении ориентации волокна.

Необходимость ограничения деформации ПАН волокна подтверждается и результатами исследования зависимости количества ворса на ПАН волокне от величины деформации [5]. На рис. 2 приведены данные по количеству ворсинок на 1 м волокна по переходам технологического процесса печи термостабилизации при различных деформациях волокна на данном технологическом переходе. Анализ данных показывает одинаковое количество ворса на волокне при вытяжках до 10% и увеличение ворса на волокне при деформациях 18-20%. Это также подтверждает наличие оптимального значения деформации, превышение которого приводит к увеличению травмирования структуры волокна и разрыву элементарных волокон.

Вторая задача решается с помощью систем автоматизации, обеспечивающих реализацию заданного деформационного режима путем управления соотношением скоростей или натяжением волокна на различных технологических переходах. При этом важно обеспечить согласованную работу нескольких приводов как для исключения перенапряжения и травмирования волокна, так и для исключения его провисания и возможности термического разложения при касании металлических конструкций технологической линии.

В существующей системе управление деформационным режимом производится путем стабилизации соотношения скоростей подающих и приемных валльцев, что вследствие нестабильности начального состояния структуры исходного ПАН волокна ( $\sigma_0$  на рис. 2) приводит к нестабильности напряжения волокна по переходам технологического процесса ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  на рис. 2) и окисленного волокна ( $\sigma_3$  на рис. 2).

онного режима на всех переходах процесса термостабилизации и реализация выбранного режима на технологическом процессе.

Необходимость оптимизации деформационного режима обусловливается, с одной стороны, необходимостью больших вытяжек ПАН волокна для получения высокой ориентации и ограничением вытяжки для исключения травмирования волокна и получения на нем ворса. Это подтверждается результатами исследования напряжения волокна при деформациях. На рис. 1 приведены экспериментальные кривые напряжения тройного сополимера ПАН волокна текс 425 при ступенчатых деформациях при температуре 135°C. Анализ экспериментальных кривых [5] показывает, что при вытяжках 2,4, 3,5, 5% сохраняется единый механизм реакции полимера. С увеличением вытяжки пропорционально увеличиваются напряжения и химической, и физической сеток (рис. 1 а). Но при увеличении вытяжки до 10, 13% реакция сополимера изменилась, что говорит о травмировании

Так как система управления обеспечивает одинаковые вытяжки для всех партий ПАН волокна, то и менее и более ориентированные исходные ПАН волокна находятся в разном рабочем диапазоне нагрузок волокна, что приводит к травмированию более ориентированных волокон. Кроме того, одинаковые вытяжки сохраняют имеющуюся неоднородность в исходном волокне.

Для повышения стабильности структуры окисленного ПАН волокна необходимо подстраивать деформационный режим под характеристики структуры исходного волокна. Косвенным показателем состояния структуры волокна является напряжение волокна при заданной температуре при определенной значении деформации. Процесс термостабилизации идет при заданных температурах по зонам, следовательно, стабилизация напряжения волокна на технологическом переходе позволяет повысить стабильность структуры волокна. При этом менее ориентированное исходное волокно получит дополнительную деформацию, а более ориентированное волокно получит меньшую деформацию, что обеспечивает получение более стабильной степени ориентации термостабилизированного волокна. Недостатком данного способа является возможность повышения нестабильности текста термостабилизированного волокна. Несмотря на это, этот вопрос требует проработки для получения необходимых данных и принятия решения по повышению стабильности термостабилизированного волокна с некоторым увеличением дисперсии по тексту или повышению стабильности исходного ПАН волокна у его производителя.

Функциональная схема одной зоны термообработки ПАН приведена на рис. 3 а. Система включает зону печи для температурной обработки, входные В1 и выходные В2 вальцы для пропуска нити через зону печи и ее деформационной обработки. Управляемым параметром деформационной обработки является усилие натяжения волокна на входе выходных вальцев. Управляющим параметром является соотношение скоростей входных и выходных вальцев, изменение которого соответствует изменению деформации волокна на данном переходе.

Построение модели объекта управления по каналу деформация – усилие натяжения может быть произведено по экспериментальным данным изменения напряжения волокна при ступенчатом изменении деформации, приведенном на рис. 1 а. На рис. 3 б приведены данные активного эксперимента по вытяжке волокна в лабораторных условиях на установке АСНИ [6] при температуре 150°C в расстеклованном виде. В процессе эксперимента волокно было подвергнуто 6,6% вытяжке. При этом фиксировалось внутреннее напряжение волокна. График изменения напряжения волокна соответствует параллельно включенным пропорциональному и реальному дифференцирующему звеньям.

Разложение кривой переходного процесса на две составляющие  $V1$ ,  $V2$  (рис. 3) позволяет записать передаточную функцию объекта управления по каналу деформация – напряжения в виде суммы

$$W(p) = K_1 + \frac{K_2 p}{Tp + 1}.$$

Определение коэффициентов модели произведено путем решения задачи нелинейного программирования по критерию МНК отклонения расчетного напряжения от экспериментального:

$$I = \sum_1^n (p^j - p^M)^2 \rightarrow \min.$$

Для решения данной задачи разработана программа в электронных таблицах Excel. Минимальному значению критерия соответствуют значения коэффициентов

$$K_1 = 0,76; \quad K_2 = 2,5; \quad T = 163,8.$$

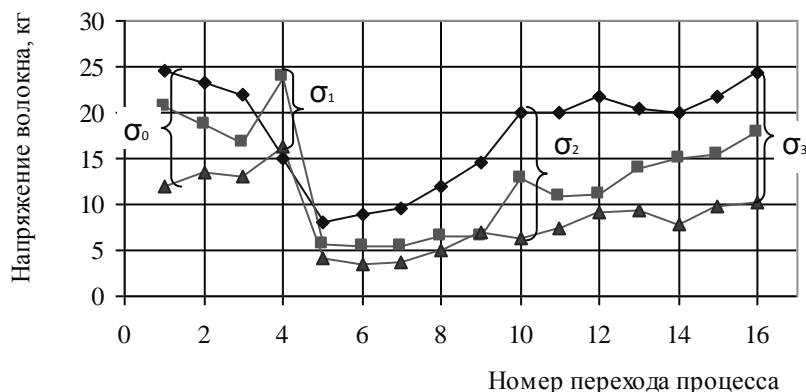


Рис. 2. Экспериментальные кривые напряжения ПАН волокна по переходам процесса окисления

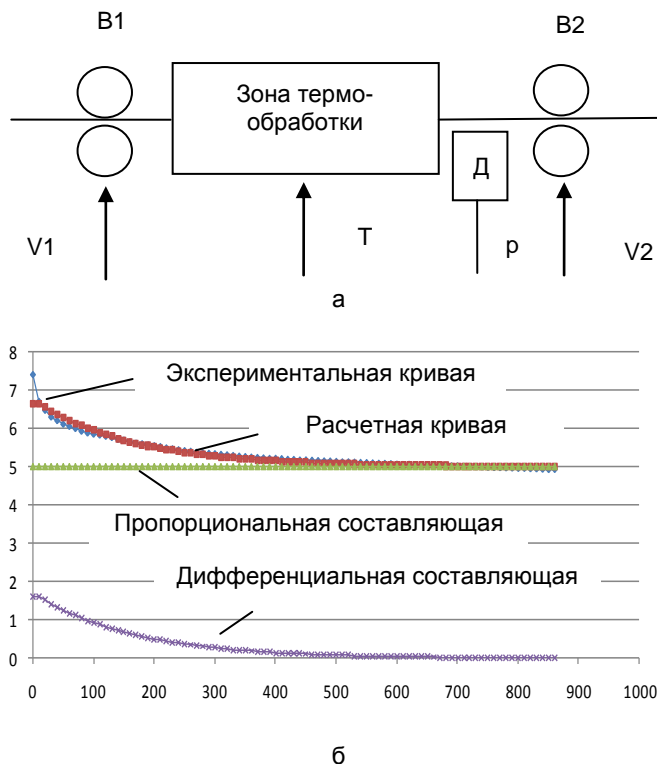


Рис. 3. а – функциональная схема одной зоны термообработки;  
б – экспериментальный и расчетный графики напряжения ПАН волокна при ступенчатой деформации

Корреляционное отношение, показывающее, какая часть дисперсии выходной переменной описана моделью, равно  $\eta = \frac{S_{обм}}{S_n} = 0,97$ ,

где  $S_n$  – полная сумма квадратов отклонения напряжения волокна от среднего значения;  $S_{обм}$  – сумма квадратов отклонения напряжения волокна от среднего значения, описанная математической моделью.

Графики экспериментального и расчетного напряжений волокна приведены на рис. 3 б. Хорошее совпадение графиков показывает правильность выбора структуры модели и достаточную адекватность полученных параметров.

Данная модель с параметрами, соответствующими конкретным рабочим точкам технологических переходов, предназначена для построения систем стабилизации напряжения ПАН волокна по переходам технологического процесса термостабилизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Jain M.K. Conversion of acrylonitrile-based precursor fibres to carbon fibres. Part 1 / M.K. Jain, A.S. Abhiraman // Journal of materials science. 1987. № 22. P. 278-300.
2. Jain M.K. Conversion of acrylonitrile-based precursor fibres to carbon fibres. Part 2 / M.K. Jain, M.V. Desai, A.S. Abhiraman // Journal of materials science. 1987. № 22. P. 301-312.
3. Армирующие химические волокна для композиционных материалов / Г.И. Кудрявцев, В.Я. Варшавский, А.М. Щетинин и др. М.: Химия, 1992. 236 с.
4. Варшавский В.Я. Кинетика и механизмы термических превращений ПАН волокон / В.Я. Варшавский. М.: НИИТЭХИМ, 1989. 60 с.
5. Бирюков В.П. Оптимизация процесса термостабилизации при получении углеродного волокна на основе ПАН: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.П. Бирюков. Саратов, 2002. 42 с.
6. Бирюков А.В. Автоматизированная система исследования волокон / А.В. Бирюков, В.П. Бирюков // Химволокна-2000: Докл. Междунар. конф. по химическим волокнам. Тверь, 2000. С. 135-140.



**Ивлева Анастасия Сергеевна** –  
инженер кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

**Мурин Сергей Валерьевич** –  
доцент кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

УДК 681.5

**А.А. Игнатъев, Е.М. Самойлова**

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

*Рассматриваются предпосылки создания экспертной системы для управления качеством продукции.*

**A.A. Ignatyev, E.M. Samoilova**

### **PRODUCT QUALITY CONTROL PERFECTION ON THE BASIS OF MONITORING SYSTEM WITH ARTIFICIAL INTELLECT ELEMENTS**

*Preconditions of creation of expert system for product quality control are considered.*

В современном обществе при решении задач управления сложными многопараметрическими и сильносвязанными системами, объектами, производственными и технологическими процессами приходится сталкиваться с решением неформализуемых либо трудноформализуемых задач. Обеспечение качества и надежности функционирования автоматизированных технологических комплексов как сложных технических систем является одной из них. В данном аспекте одним из наиболее перспективных направлений становится разработка экспертных систем (ЭС), которые позволят, используя знания специалистов (экспертов) о некоторой конкретной узкоспециализированной предметной области и в пределах этой области, принимать решения на уровне эксперта-профессионала.

Любая экспертная система включает основные блоки: подсистема логического вывода, которая использует информацию из базы знаний (БЗ), генерирует рекомендации по решению искомой задачи; модуль приобретения знаний и модуль отображения и объяснения решений.

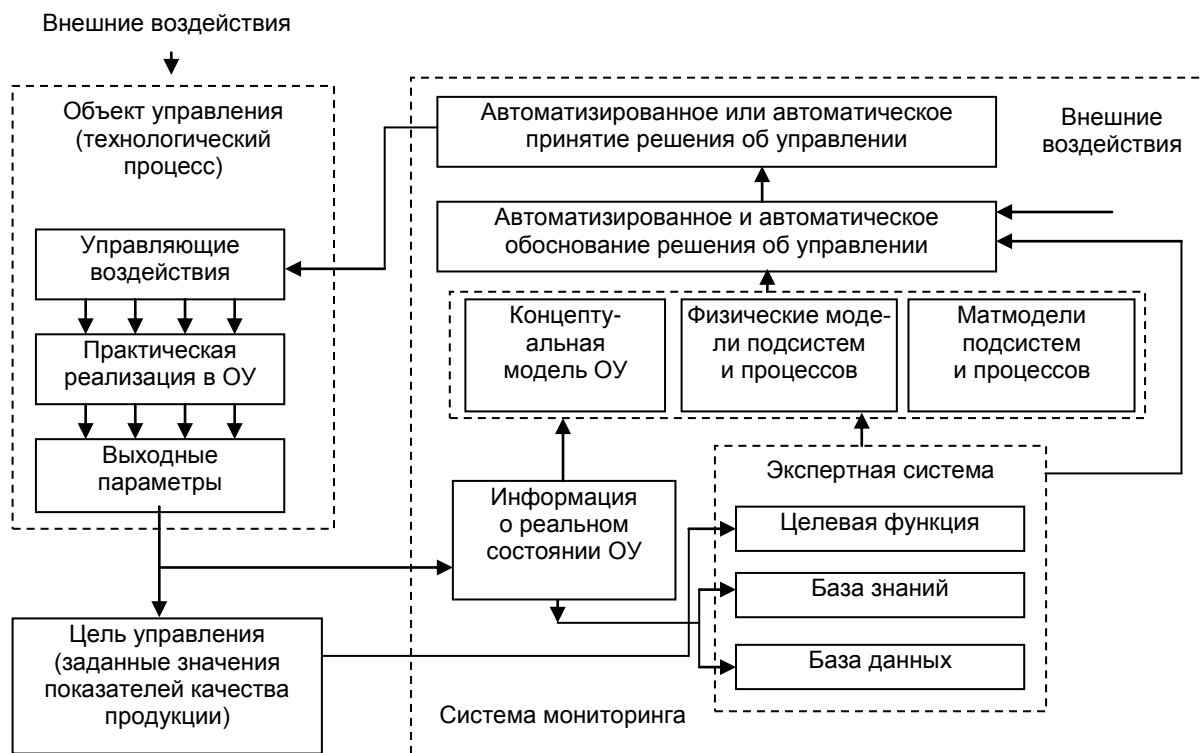
Основными категориями решаемых ЭС задач являются: диагностика, управление (в том числе технологическими процессами), интерпретация, прогнозирование, проектирование, отладка и ремонт, планирование, наблюдение (мониторинг), обучение.

Рассмотрим использование ЭС для решения задач диагностики и управления. В условиях автоматизированного производства ЭС является частью системы мониторинга технологического процесса и представляет собой программу для компьютера (программный модуль), работающий на основе баз данных и знаний (рисунок). Одновременная работа со знаниями и большими объемами информации позволяет ЭС получить неординарные результаты и управлять в реальном времени сложным объектом или процессом.

Автоматизировать знания предметных областей традиционными методами создания программного обеспечения с привлечением профессиональных программистов крайне сложно из-за дли-

тельности процесса создания программного обеспечения (ПО), значительного объема необходимых капиталовложений и большой вероятности ошибок (в силу того, что программисту трудно понять специфику предметной области).

Решение, как нам кажется, следует искать в унификации процессов разработки специализированного ПО на основе гибких интеллектуальных инструментальных средств, ориентированных на инженеров-предметчиков. Данный подход позволяет сократить стоимость и сроки разработки предметного ПО на основе экспертных систем.



Обобщенная модель системы управления качеством продукции с применением экспертной системы

Использование ЭС для решения задачи проектирования было практически реализовано в пакете T-FLEX/САПР ИМ (Система автоматизированного проектирования изделий машиностроения) [3]. Разработанная система позволяет создавать гибкие масштабируемые объектно-ориентированные экспертные системы в области проектирования изделий машиностроения. Эти качества дают возможность объединять экспертные системы из различных предметных областей. Система T-FLEX/САПР ИМ позволяет не только автоматизировать уже сложившиеся методики проектирования, но и создавать принципиально новые, применяя возможности быстрого создания проектов на основе прототипов.

Система полностью интегрирована в продукты семейства T-FLEX, в том числе поддерживается работа с чертежами T-FLEX CAD, а также реализованы привычные для пользователя механизмы параметризации и управления структурой документа (слоями, уровнями и др.). Возможно автоматическое создание справочной системы по проектированию, шаблонов проектов и объектов САПР.

Таким образом, создание экспертной системы может значительно ускорить процесс разработки сложной системы управления ТП, повысить качество решения задачи и дать экономию ресурсов за счет эффективного распределения функций центрального управления и локальных измерительных и управляющих подсистем. Такой эффект достигается за счет открытости системы представления знаний об объекте управления, адаптивности системы к условиям функционирования, автоматической коррекции управляющих воздействий при изменении существенных параметров в процессе функционирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Уотерман Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотерман. М.: Мир, 1989. 388 с.
2. Попов Э.В. Экспертные системы / Э.В. Попов. М.: Наука, 1987. 296 с.

3. T-FLEX/САПР ИМ – первое знакомство / А.К. Белявский, А.С. Давыдкин, М.В. Красиков, М.В. Никулин // САПР и графика. 2002. № 2. С. 32-33.

4. Джексон П. Введение в экспертные системы: пер. с англ. / П. Джексон. М.: Издат. дом «Вильямс», 2001. 624 с.

5. Игнатъев А.А. Совершенствование системы управления качеством продукции на основе мониторинга технологического процесса / А.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, С.А. Игнатъев // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2005. С. 81-87.

6. Игнатъев А.А. Мониторинг технологического процесса как обратная связь в системе управления качеством продукции / А.А. Игнатъев, М.В. Карпеев, С.А. Игнатъев // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2009. С. 90-94.

**Игнатъев Александр Анатольевич** –  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

**Самойлова Елена Михайловна** –  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 681.587.344.7

**А.А. Калужный, В.П. Бирюков**

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГОДИССИПАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО МЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

*Предлагается компьютерная система исследования композитного коэффициента потерь на основе импедансного метода и математической модели характеристик пластины с нанесенным на нее материалом.*

**A.A. Kaljuzhnyj, V.P. Birukov**

### **AUTOMATED SYSTEM OF RESEARCH OF ELASTIC-DISSIPATIVE CHARACTERISTICS BY THE METHOD OF THE DYNAMIC MECHANICAL ANALYSIS**

*The computer system of research of composit factor of losses on basis impedance a method and mathematical model of characteristics of a plate with put the material is offered.*

На ОАО «Балаковорезинотехника», ОАО «АвтоВАЗ» и других предприятиях для контроля характеристик битумных вибродемпфирующих материалов применяется композитный коэффициент потерь стальной пластины с нанесенным вибродемпфирующим материалом (КПП). В настоящее время он определяется методом вынужденных резонансных колебаний по стандарту ASTM 754 [1]. Недостатками данного метода являются большие трудоемкость, длительность, погрешность оценки композитного коэффициента потерь (20%), малая разрешающая способность метода по частоте.

В работе предлагается компьютерная система исследования композитного коэффициента потерь на основе импедансного метода исследования комплексного модуля упругости материала и математической модели характеристик пластины с нанесенным на нее вибородемпфирующим материалом, позволяющая уменьшить трудоемкость и продолжительность исследований.

Импедансный метод исследования характеристик полимеров реализуется путём приложения к испытуемому образцу материала малых переменных сил (синусоидальных с различными частотами или типа «белый шум») и регистрации деформации образца. Отношение комплексной амплитуды напряжения к комплексной амплитуде деформации является импедансом динамической системы

$$Z(j\omega) = \frac{\sigma(j\omega)}{\varepsilon(j\omega)} = (E + jE\tau\omega) = E^{\perp} + jE^{\parallel}, \quad (1)$$

здесь  $E^{\perp}, E^{\parallel}$  – соответственно, вещественная составляющая модуля, являющаяся мерой энергии запасаемой и освобождаемой за период деформации, и мнимая составляющая модуля, являющаяся мерой диссипации энергии.

Результат измерения может быть выражен в виде отношения амплитуды напряжения к амплитуде деформации, тогда [2, 3]

$$E^* = \sqrt{(E^{\perp})^2 + (E^{\parallel})^2} \text{ – модуль продольного деформирования;} \quad (2)$$

$$\eta^* = \operatorname{tg}(\delta) = \frac{E^{\perp}}{E^{\parallel}} \text{ – коэффициент механических потерь.}$$

Для определения вибродемпфирующих характеристик битумных материалов импедансным методом применен прибор УИМ, разработанный ФГУП ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова (г. Санкт-Петербург). Прибор позволяет измерять комплексный динамический модуль упругости и коэффициент потерь полимерных материалов при продольной, сдвиговой деформации и объемном сжатии [2, 3].

Математическая модель

$$\eta(f) = \frac{\eta_2(f) \alpha_2 \beta_2(f) (\alpha_2^2 + 12\alpha_{21}^2)}{1 + \alpha_2 \beta_2(f) (\alpha_2^2 + 12\alpha_{21}^2)}, \quad (3)$$

позволяющая определять композитный коэффициент потерь пластины с нанесённым материалом  $\eta(f)$  при известных значениях модуля продольного деформирования  $E^*(f)$  и коэффициента внутренних потерь нанесённого материала  $\eta_2(f)$ , где  $\alpha_2 = E^*/E$ ,  $E$  – модуль материала подложки,  $\alpha_{21}, \beta_2(f)$  – параметры, определяемые геометрией подложки и наклеенного образца, получена с помощью метода волнового механического сопротивления тонких пластин на основании уравнения волнового движения пластины [4, 5].

На рис. 1 приведены графики ККП, полученные методом вынужденных резонансных колебаний и на основании построенной модели (3) и данных исследования битумного вибродемпфирующего материала на приборе УИМ [6].

Хорошее совпадение графиков показывает достаточную для практического применения адекватность полученной модели. Оценка точности определения композитного коэффициента потерь с использованием разработанной системы и методики расчета КПП составляет 10% [5].

Блок-схема и внешний вид компьютерной системы представлены на рис. 2, 3 а. Система реализована на отечественных элементах и типовом персональном компьютере [6, 7] и включает алгоритмическое обеспечение и программное обеспечение, реализованные в среде LabVIEW 7.0 с использованием пользовательских процедур и функций MatLab 6.5.

Между генератором деформации и датчиком силы устройства УИМ помещается образец из исследуемого полимерного материала. На компьютере генерируется случайный процесс типа «белый шум», который через звуковую плату компьютера и усилитель мощности подается на генератор деформации, где преобразуется в механическую энергию и деформирует испытуемый образец. Сигнал с датчика силы через усилитель заряда и плату сопряжения подается на компьютер, на котором производится обработка информации.

В системе реализованы функции предварительные настройки, режима осциллографа, проведения эксперимента, записи, чтения и визуализации информации, запись короткого замыкания, расчета композитного коэффициента потерь, анализа временных рядов и т.д. [5, 7, 8]. Все функции доступны из главного рабочего окна программы (рис. 3 б). На рис. 4 приведен пример обработки результатов. На графики выведены модуль продольной деформации, коэффициент внутренних потерь и композитный коэффициент потерь битумного вибродемпфирующего материала.

Достоверность и воспроизводимость результатов обеспечиваются за счёт постоянного контроля в процессе исследований функции когерентности и применения дифференциального метода измерения, позволяющих постоянно контролировать состояние компьютерной системы [6, 7].

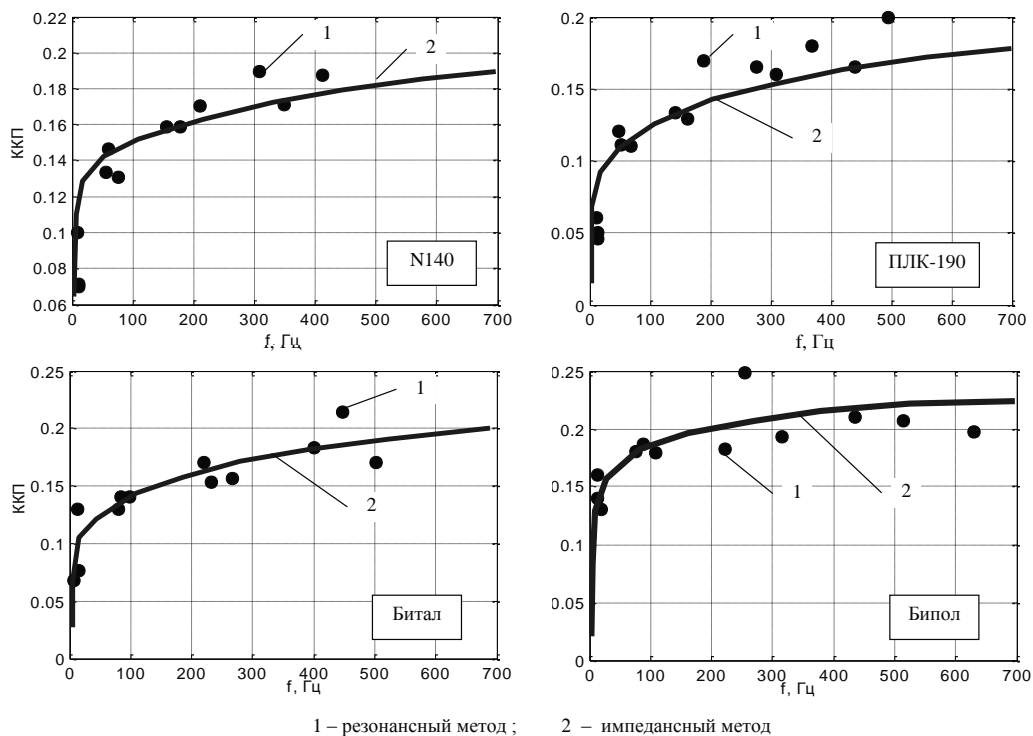


Рис. 1. Сравнение резонансного и импедансного методов

Разработка информационной измерительной системы «УИМ» на основе предложенной методики позволяет повысить точность измерений, уменьшить требования к характеристикам измерительных трактов, получать, визуализировать и анализировать данные о качественных показателях вибродемпфирующих и других полимерных материалов.

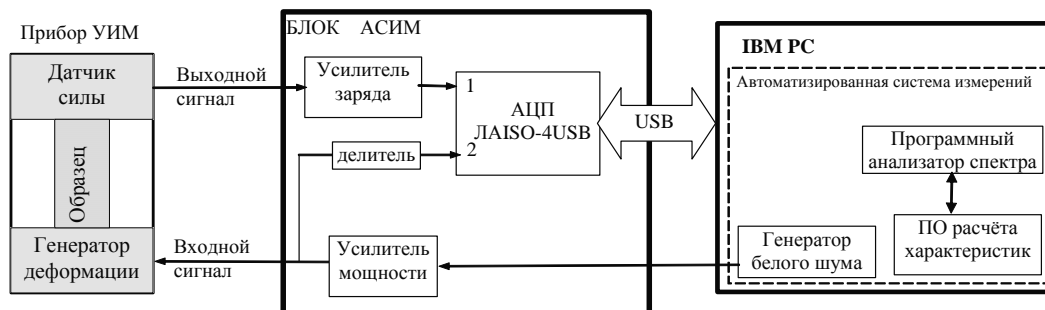


Рис. 2. Схема компьютерной системы на основе прибора УИМ

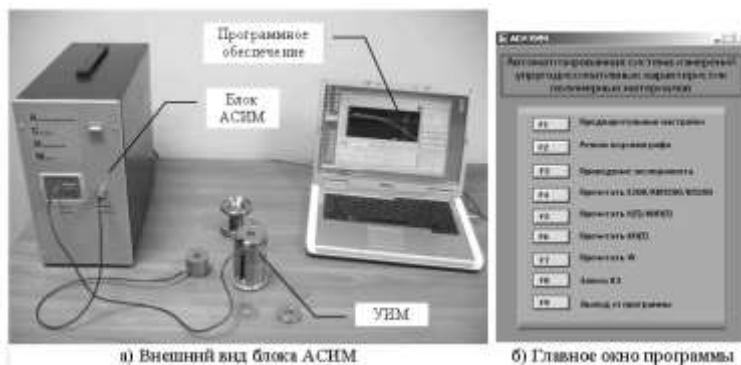


Рис. 3. Внешний вид компьютерной системы исследований

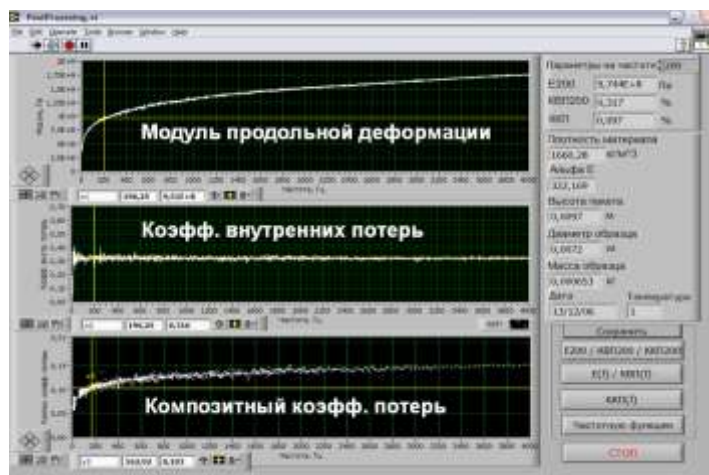


Рис. 4. Пример анализа характеристик материала

Использование импедансного метода исследования характеристик вибродемпфирующих материалов на приборе УИМ, разработка и внедрение компьютерной системы проведения анализов и обработки результатов и методики оценки композитного коэффициента потерь по данным исследования материала на приборе УИМ позволило снизить продолжительность анализа до 20 минут. Это позволило сделать большие экспериментальные выборки по переходам технологического процесса производства битумных вибродемпфирующих материалов, исследовать характеристики технологического процесса как объекта управления и разработать автоматизированную систему управления качественными показателями вибродемпфирующих материалов [9-11].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. An American National Standard E 756-04. Laboratory measurement of composite Vibration Damping Properties of materials on a supporting steel bar. ASTM International, 1993-02-01.
2. Измерение комплексных модулей упругости и коэффициент потерь полимерных вибропоглощающих материалов в широком диапазоне частот / В.И. Попков, В.В. Безъязычный, Т.Б. Кислова, А.И. Курбатов, С.В. Попков // *Техническая акустика*. 1999. Т. 5. № 1-2(15-16). С. 42-47.
3. Попков С.В. Методика выполнения измерений упругодиссипативных характеристик полимерных материалов на устройстве ИМ / С.В. Попков, В.В. Безъязычный, Т.Б. Кислова / ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. СПб., 2004.
4. Никифоров А.С. Распространение и поглощение звуковой вибрации на судах / А.С. Никифоров, С.В. Будрин. Л.: Судостроение, 1968. 216 с.
5. Калюжный А.А. Система управления качеством битумных вибродемпфирующих материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Калюжный. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.
6. Калюжный А.А. Сравнение методов исследования характеристик вибродемпфирующих материалов методом динамического механического анализа / А.А. Калюжный, В.П. Бирюков // *Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр.* Саратов: СГТУ, 2007. С. 95-101.
7. Калюжный А.А. Автоматизированная система исследования упругодиссипативных характеристик методом динамического механического анализа / А.А. Калюжный // *Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр.* Саратов: СГТУ, 2007. С. 89-94.
8. Калюжный А.А. Автоматизированная система исследования модуля полимерных материалов методов динамического механического анализа / А.А. Калюжный, С.В. Мурин, В.П. Бирюков // Четвёртый Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций. Ч. 1. Саратов, 2009. С. 23.
9. Калюжный А.А. Построение математической модели зависимости коэффициента потерь битумного вибродемпфирующего материала от его состава / А.А. Калюжный, Г.М. Садчикова, В.П. Бирюков // *Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр.* Саратов: СГТУ, 2007. С. 8-12.
10. Калюжный А.А. Рассмотрение технологического процесса производства битумного вибродемпфирующего материала как объекта управления / А.А. Калюжный, Г.М. Садчикова, В.П. Бирюков // *Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр.* Саратов: СГТУ, 2007. С. 13-18.
11. Калюжный А.А. Синтез ЛКГ регулятора композитного коэффициента потерь битумного вибродемпфирующего материала / В.П. Бирюков // *Вестник СГТУ*. 2009. № 2 (38). С. 80-87.

**Калюжный Алексей Александрович** – аспирант кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»

Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

**Бирюков Владимир Петрович** –

доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология и автоматизация машиностроения»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

УДК 678.01:677.494

**О.А. Капралова**

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНОГО ВОЛОКНА В ПРОИЗВОДСТВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

*На основании активного эксперимента производится построение модели кинетики процесса окисления полиакрилонитрильного волокна. Построенная модель предназначена для разработки системы управления температурным режимом процесса окисления полиакрилонитрильного волокна в производстве углеродных волокон.*

**О.А. Kapralova**

### MATHEMATICAL MODEL OF THE KINETICS OF THE OXIDATION PAN FILAMENT IN PRODUCTION OF THE CARBON FILAMENTS

*On the grounds of active experiment is produced building to models of the kinetics of the process of the oxidation PAN filament. The Built model is intended for development managerial system warm-up cut process of the oxidation PAN filament in production of the carbon filaments.*

Производство углеродных волокон (УВ) на основе полиакрилонитрила (ПАН) относится к числу быстро развивающихся отраслей. Их выпуск в 2006 г. составил 28 тыс. т, в 2007 г. производственные мощности возросли до 55,5 тыс. т, в 2008 г. достигли 66 тыс. т. Лидерами в производстве УВ являются японские фирмы «Toray», «Toho» и «Mitsubishi», на их долю вместе с дочерними фирмами в США, Германии и Франции приходится 77% общего выпуска [2].

Основной технологической операцией процесса производства УВ на основе ПАН является процесс термостабилизации. Это сложный технологический процесс, включающий большое число параллельно и последовательно протекающих химических и физических процессов. Кроме того, это самая продолжительная стадия получения углеродного волокна. Поэтому качественные показатели УВ и эффективность их производства в большой степени определяются правильностью выбора режима термообработки ПАН в процессе термостабилизации. В данной работе производится построение математической модели кинетики процесса окисления ПАН волокна.

**Выбор структуры математической модели.** Выбор структуры произведен на основании результатов активного эксперимента. В печи прибора Динафил М проводили термическую обработку жгутов ПАН волокна при постоянных температурах, соответственно, 200, 220 и 240°C. С дискретностью 50 минут отбирались пробы волокна для анализа на плотность.

Экспериментальные кинетические кривые приведены на рис. 1. Плотность для каждой температуры стремится к своему установившемуся значению, причем изменение плотности идет по кривым, близким к экспоненциальным.

По виду экспериментальных кривых изменение плотности в процессе термообработки можно описать уравнением:

$$\rho(t) = \rho_0 + \Delta\rho(T)(1 - e^{-k(t)}) , \quad (1)$$

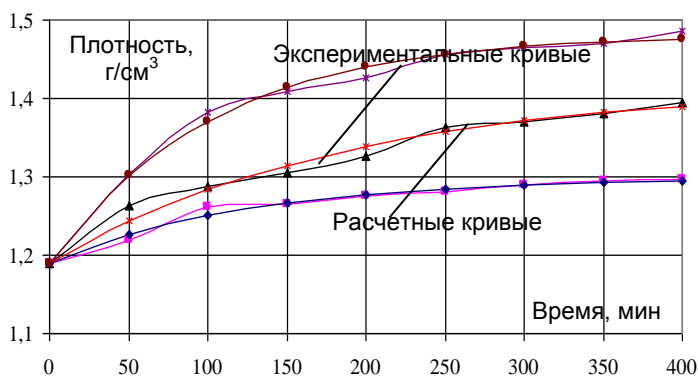


Рис. 1. Аппроксимация кинетики ПАН волокна

где  $\rho_0$  – начальное значение плотности;  $\Delta\rho(T) = \rho_{уст}(T) - \rho_0$  – отклонение текущего значения плотности от равновесного;  $\rho_{уст}(T)$  – равновесное (установившееся) значение плотности, к которому стремится плотность ПАН волокна при температуре  $T$ ;  $k(T)$  – коэффициент аппроксимации, зависящий от температуры.

Уравнение (1) является решением дифференциального уравнению кинетики первого порядка

$$\frac{d\rho}{dt} = k(T) \cdot \Delta\rho(T), \quad k(T) = k \cdot e^{-\frac{E_1}{RT}}, \quad (2)$$

где  $k(T)$  – константа кинетики;  $k, E$  – пред-

экспоненциальный множитель и энергия активации уравнения Аррениуса.

**Параметрическая идентификация ММ.** Оценки параметров модели  $k(T)$  и  $\Delta\rho(T)$  получены путем решения задачи нелинейного программирования с использованием уравнения связи (1) и квадратичного критерия:

$$I = \sum_1^N (\rho^э - \rho^р)^2 \rightarrow \min,$$

где  $\rho^э$  и  $\rho^р$  – экспериментальные и расчетные значения плотности волокна;  $N$  – объем выборки.

Решение задачи минимизации критерия производилось методом Ньютона [4] в электронной таблице Excel. Графики экспериментальных и определенных по полученным моделям плотностей приведены на рис. 1. Совпадение графиков показывает, что уравнение (1) не противоречит экспериментальным данным и уравнение кинетики первого порядка может быть на данном этапе положено в основу анализа закономерностей изменения плотности волокна в процессе термостабилизации.

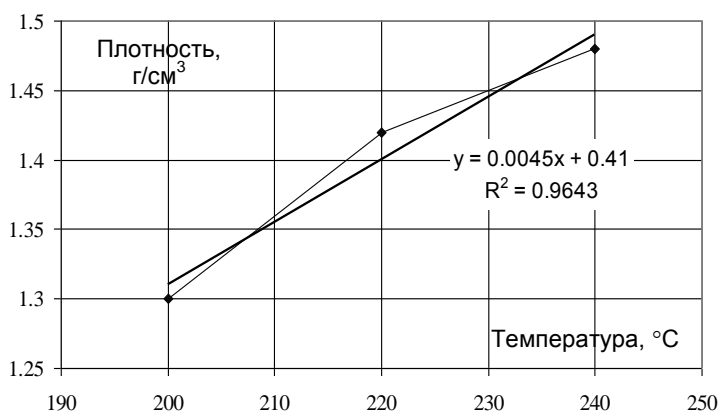


Рис. 2. Зависимость равновесной плотности от температуры

При описании кинетических зависимостей были получены оценки приращений  $\Delta\rho$  для температур 200, 220, 240°C. На основании этих данных в табл. 1 получены оценки равновесных значений плотностей для этих температур, по которым построен график и получено линейное уравнение зависимости равновесной плотности от температуры ПАН (рис. 2)

$$\rho_{уст} = b_0 + b_1 \cdot T,$$

где  $b_0 = 0,41$ ,  $b_1 = 0,0045$ .

Высокое значение коэффициента множественной корреляции  $R^2 = 0,96$  подтверждает наличие равновесной плотности для различных температур ПАН волокна и значимость полученной зависимости.

Таблица 1

Оценки равновесных значений плотностей

Равновесное состояние по активному эксперименту	
Температура, °C	Плотность, г/см³
200	$1,19 + 0,109 = 1,3$
220	$1,19 + 0,23 = 1,42$
240	$1,19 + 0,29 = 1,48$

**Параметрическая идентификация для каждой рабочей зоны.** Второй этап работы проводился для проверки возможности использования построенной математической модели в широком диапазоне изменения плотностей ПАН волокна в процессе термостабилизации. Для нескольких образцов ПАН с каждого перехода процесса термостабилизации была проведена термическая обработка в лабораторной печи при различных температурах. Кинетические кривые представлены на рис. 3 а.



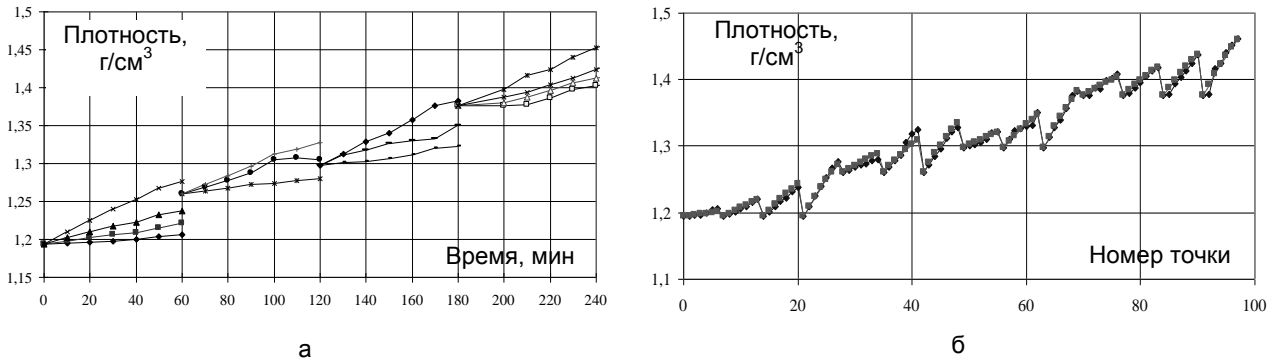


Рис. 3. Кинетические кривые для образцов по переходам

Параметрическая идентификация модели проводилась путем решения задачи нелинейного программирования в электронной таблице Excel. В табл. 2 приведены скорректированные значения оценок параметров модели и показатели адекватности описания экспериментальных данных. Модель дает высокое значение корреляционного отношения  $\eta^2$  и хорошее совпадение на графиках расчетных и экспериментальных значений плотностей (рис. 3 б). Для наглядности экспериментальные и расчетные значения плотностей представлены последовательно в виде одного графика.

**Построение математической модели процесса термостабилизации в пространстве состояний.** При построении математической модели введены:

- вектор пространства состояний объекта управления  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$  – плотность волокна на выходе зон;
- вектор управляющих воздействий  $T_1, T_2, T_3, T_4$  – температура в каждой зоне.

Таблица 2

Оценки параметров модели и показатели адекватности описания экспериментальных данных

Оценки параметров ММ и показатели адекватности	Зоны			
	1	2	3	4
$k$	16,81	16,8	16,8	16,81
$E$	31653	32095	34537	35248
$\eta^2$	0,98	0,91	0,98	0,96
$2S_{\text{ост}}$	0,0112	0,0268	0,0142	0,0194

Записав уравнения кинетики для четырех зон печи окисления, получим систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\rho_1}{dt} = k_1 e^{-\frac{E_1}{RT_1}} \rho_{\text{всм1}} - k_1 e^{-\frac{E_1}{RT_1}} \rho_1, \\ \frac{d\rho_2}{dt} = k_2 e^{-\frac{E_2}{RT_2}} \rho_{\text{всм2}} - k_2 e^{-\frac{E_2}{RT_2}} \rho_2, \\ \frac{d\rho_3}{dt} = k_3 e^{-\frac{E_3}{RT_3}} \rho_{\text{всм3}} - k_3 e^{-\frac{E_3}{RT_3}} \rho_3, \\ \frac{d\rho_4}{dt} = k_4 e^{-\frac{E_4}{RT_4}} \rho_{\text{всм4}} - k_4 e^{-\frac{E_4}{RT_4}} \rho_4. \end{cases} \quad (3)$$

Произведя линеаризацию уравнений (3) путем разложения в ряд Тейлора, получим

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_1 x_1 + b_1 U_1 \\ \dot{x}_2 = a_2 x_2 + b_2 U_2 \\ \dot{x}_3 = a_3 x_3 + b_3 U_3 \\ \dot{x}_4 = a_4 x_4 + b_4 U_4 \end{cases} \quad (4)$$

Запишем систему уравнений (4) в виде уравнений состояния:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A \cdot x + B \cdot y \\ y &= C \cdot x + D \cdot U \end{aligned}$$

Матрицы A, B, C и D имеют вид

$$A = \begin{pmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_4 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_4 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Определение значений коэффициентов матриц A, B, C и D произведено на основании значений коэффициентов  $k$  и  $E$  из табл. 2 для соответствующих зон печи окисления:

$$A = \begin{pmatrix} -0,0058 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0,0067 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0,0047 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0,0059 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0,000012 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,000014 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,000009 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,00001 \end{pmatrix}.$$

Построенная ММ предназначена для разработки системы управления температурным режимом процесса термостабилизации ПАН волокна в производстве углеродных волокон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюков В.П. Математическое моделирование и оптимизация термостабилизации полиакрилонитрильного волокна / В.П. Бирюков. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2002. 126 с.
2. Серков А.Т. Состояние и перспективы производства углеродных волокон на основе полиакрилонитрила / А.Т. Серков, М.Б. Радишевский // Химические волокна. 2008. № 1. С. 20-26.
3. Углеродные волокна: пер. с япон. / под ред. С. Симамуры. М.: Мир, 1987. 304 с.
4. Химельблау Д. Прикладное нелинейное программирование: пер. с англ. / Д. Химельблау. М.: Мир, 1975. 536 с.
5. Эммануэль Н.М. Курс химической кинетики / Н.М. Эммануэль, Д.Г. Кнорре. М.: Высш. шк., 1984. 463 с.

**Капралова Ольга Альбертовна** –

ассистент кафедры «Управление и информатика в технических системах»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

УДК 681.587.344.7

**А.П. Климов, Г.М. Садчикова, В.П. Бирюков**

#### **ДИНАМИЧЕСКАЯ РАЗВЯЗКА КАНАЛОВ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ**

*Решена задача повышения эффективности системы управления путем использования динамической развязки каналов технологического процесса смешения для устранения взаимного влияния управляющих воздействий.*

**A.P. Klimov, G.M. Sadchikova, V.P. Birukov**

#### **DYNAMIC DIVISION OF CHANNELS OF PROCESS OF MANUFACTURING OF A RUBBER STOCK**

*In this article the dynamic division of channels of process of manufacturing of a rubber of products is made improvement of a system effectiveness of management for process of manufacturing of a rubber of products.*

Неоднородность параметров исходных ингредиентов приводит к нестабильности характеристик получаемой резиновой смеси и снижению механических характеристик выпускаемых резино-технических изделий. В [1-2] для повышения стабильности разрывной прочности муфт «Джуба» для автомобилей ВАЗ на ОАО «Балаковорезинотехника» предложена система управления максимальным моментом сдвига и формальной константой кинетики вулканизации резиновой смеси путем корректировки дозировок серы и сульфенамида. Но наличие взаимного влияния принятых управляющих воздействий на вулканизационные характеристики приводит к формированию новых возмущающих воздействий и не позволяет получить требуемую эффективность системы.

В настоящей работе производится повышение эффективности данного алгоритма управления путем использования динамической развязки каналов технологического процесса смешения для устранения взаимного влияния управляющих воздействий.

**Система управления исходным технологическим процессом.** На рис. 1 представлена структурная схема технологического процесса приготовления резиновой смеси [1, 2].

На рис. 1 обозначено: управляемые параметры  $y_1, y_2$  – максимальный момент сдвига, константа кинетики вулканизации; управляющие параметры  $u_1, u_2$  – массовые дозировки серы и сульфенамида;  $W_{11}(p) \div W_{22}(p)$  – передаточные функции по управляющим воздействиям;  $W_{f1}(p), W_{f2}(p)$  – формирующие фильтры для генерации возмущающих воздействий с заданными характеристиками  $f_1, f_2$ . На входы формирующих фильтров подаются случайные процессы  $n_1, n_2$  типа «белый шум» с заданными дисперсиями.

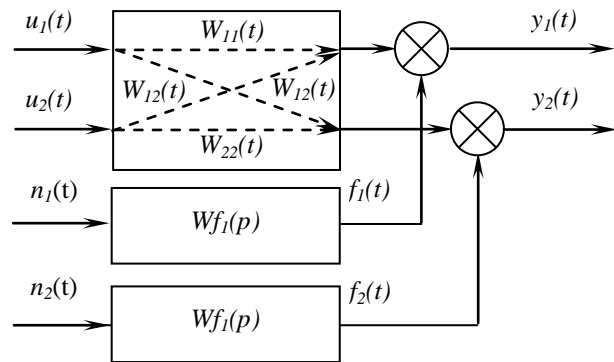


Рис. 1. Структурная схема объекта управления

Математические модели объекта управления по каналам управляющих воздействий (рис. 1) получены методом регрессионного анализа на основании экспериментальных исследований [4-6]:

$$W_{11}(p) = 0,095 e^{-p\tau}, \quad W_{21}(p) = -0,0068 e^{-p\tau}, \quad W_{12}(p) = 0,027 e^{-p\tau}, \quad W_{22}(p) = -0,025 e^{-p\tau},$$

где  $\tau = 1$  – запаздывание на 1 шаг, т.к. управляющее воздействие действует на следующую группу партий резиновой смеси.

Математические модели формирующих [3]:

$$W_{f1}(z) = \frac{0,2798z - 0,2746}{z^2 - 1,898z + 0,9012}, \quad W_{f2}(z) = \frac{0,07839}{z - 0,8694}.$$

Математическая модель исходного технологического процесса приготовления резиновой смеси как объекта управления при наличии возмущающих воздействий в ABCD-представлении имеет вид:

a =							b =						
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7		u1	u2	f1	f2	
x1	0	0	0	0	0	0	0	x1	0.1051	0	0	0	
x2	0	0	0	0	0	0	0	x2	0	-0.03537	0	0	
x3	0	0	0	0	0	0	0	x3	0.03696	0	0	0	
x4	0	0	0	0	0	0	0	x4	0	-0.03505	0	0	
x5	0	0	0	0	1.898	-0.4506	0	x5	0	0	0.5	0	
x6	0	0	0	0	2	0	0	x6	0	0	0	0	
x7	0	0	0	0	0	0	0.8694	x7	0	0	0	0.25	
c =							d =						
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7		u1	u2	f1	f2	
Y1	1	1	0	0	0.5597	-0.2746	0	Y1	0	0	0	0	
Y2	0	0	1	1	0	0	0.3135	Y2	0	0	0	0	

Для математической модели исходного объекта управления в программном комплексе Control System Toolbox [7-8] системы Matlab выполнен синтез ЛКГ регулятора по выходу. Матрица обратных связей имеет вид

$$K = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 5,8244 & -2,8640 & 3,2793 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1,5262 & 0,7505 & -11,5670 \end{vmatrix}$$

Структурная схема полной системы управления представлена на рис. 2 а. Линейно-квадратичный регулятор ЛКГ включает наблюдающее устройство на основе фильтра Калмана и матричный линейный регулятор  $K$ .

Анализ эффективности системы управления исходным объектом управления произведен методом математического моделирования при возмущающих воздействиях, характеристики которых соответствуют возмущениям, действующим на технологическом процессе.

Коэффициент эффективности управления максимальным моментом  $k_1$  и константой кинетики  $k_2$  равен:

$$k_1 = \frac{S_{1p}}{S_{13}} = 1.9, \quad k_2 = \frac{S_{2p}}{S_{23}} = 1.7,$$

где  $S_{ip}, S_{is}$  – соответственно сумма квадратов отклонений  $i$ -й регулируемой переменной от задания для разомкнутой и замкнутой систем.

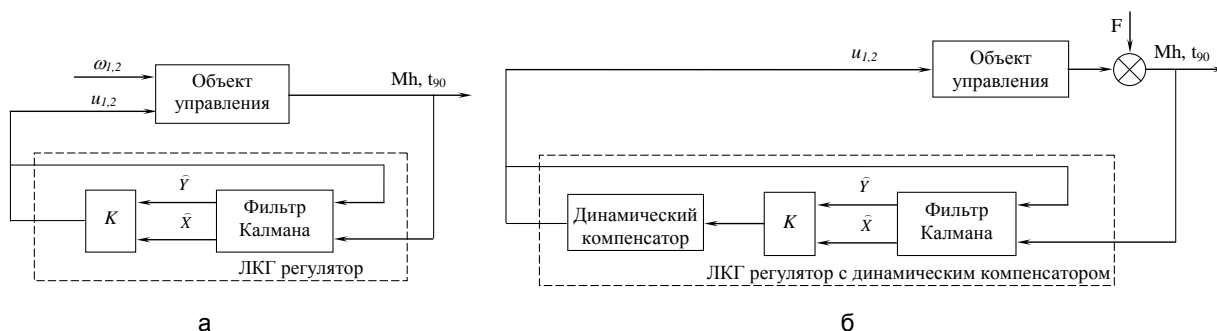


Рис. 2. Структурная схема системы управления

**Динамическая развязка каналов технологического процесса.** Для рассматриваемого технологического процесса многомерная система имеет 2 выхода и 2 входа рис. 1. Рассматриваемый многомерный объект управления имеет 2 параллельно работающих канала управления  $u_1(t) \rightarrow y_1(t)$ ,  $u_2(t) \rightarrow y_2(t)$  и 2 перекрестных канала  $u_1(t) \rightarrow y_2(t)$ ,  $u_2(t) \rightarrow y_1(t)$ .

Матричная передаточная функция объекта управления имеет вид

$$W_0(s) = \begin{pmatrix} W_{11}^0(s) & W_{12}^0(s) \\ W_{21}^0(s) & W_{22}^0(s) \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} 0,0950 & -0,0068 \\ 0,0270 & -0,0250 \end{vmatrix}.$$

При управлении перекрестные связи формируют дополнительные возмущающие воздействия на другие управляемые параметры. В идеальной системе, в которой все каналы развязаны, управление осуществляется по каждому каналу автономно, т.е. каждому индивидуальному скалярному входу соответствует свой индивидуальный выход [9].

Для развязки каналов используются компенсаторы, которые включаются на входе многомерного объекта. Задача «развязки каналов» состоит в подборе передаточной функции компенсатора таким образом, чтобы матричная передаточная функция объекта управления с компенсатором стала диагональной [9]:

$$W_0(s)W_k(s) = \text{diag } W_0(s).$$

Отсюда передаточная функция компенсатора будет:

$$W_k(s) = W_0^{-1}(s) \text{diag } W_0(s) = \begin{vmatrix} 11,4082 & 12,3209 \\ -3,1030 & -43,3513 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0,0950 & 0 \\ 0 & -0,0250 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1,0838 & -0,3080 \\ -0,2948 & 1,0838 \end{vmatrix}.$$

Математическая модель объекта управления с динамическим компенсатором в ABCD представлении имеет вид

a =				b =				
	x1	x2	x3		u1	u2	f1	f2
x1	1.898	-0.4506	0	x1	0	0	0.5	0
x2	2	0	0	x2	0	0	0	0
x3	0	0	0.8694	x3	0	0	0	0.25

c =				d =				
	x1	x2	x3		u1	u2	f1	f2
Y1	0.5597	-0.2746	0	Y1	0.1051	0.03696	0	0
Y2	0	0	0.3135	Y2	-0.03537	-0.03505	0	0

Матрица обратной связи ЛКГ регулятора для развязанного объекта управления имеет вид

$$K = \begin{bmatrix} 7,6264 & -3,7414 & 4,1701 \\ -7,1229 & -3,4944 & -12,4232 \end{bmatrix}.$$

На рис. 2 б представлена разработанная система управления с «развязанными каналами». Регулятор включает наблюдающее устройство на основе фильтра Калмана, матричный линейный регулятор  $K$  и динамический компенсатор.

Представлены временные ряды максимального момента сдвига и константы кинетики вулканизации для разомкнутой и замкнутой систем, полученные методом математического моделирования для разработанной системы управления. Дисперсия максимального момента при работе системы управления уменьшилась в 3,4 раза, константы кинетики в 2,8 раза.

Таким образом, использование динамической развязки каналов многомерного объекта управления позволило повысить эффективность системы управления. В рассматриваемом случае эффективность системы управления повысилась в 1,4-1,8 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Система управления характеристиками резиновой смеси / А.Н. Сочнев, А.П. Климов, Г.М. Садчикова, Е.С. Ефремов, В.П. Бирюков // Проблемы шин и резинокордных композитов: доклады 17 симпозиума / ООО «НТЦ «НИИШП». М., 2006. Т. 2. С. 192-199.
2. Климов А.П. Система управления технологическим процессом производства резинотехнических изделий / А.П. Климов, Г.М. Садчикова, В.П. Бирюков // Проблемы шин и резинокордных композитов: доклады 19 симпозиума / ООО «НТЦ «НИИШП». М., 2008. Т. 1. С. 181-190.
3. Мурин С.В. Построение формирующего фильтра для генерации случайного сигнала / С.В. Мурин, В.П. Бирюков // Проблемы прочности, надежности и эффективности: сб. науч. тр. БИТТУ СГТУ. Саратов: СГТУ, 2007. С. 222-225.
4. Сочнев А.Н. Анализ параметров состояния резиновой смеси для управления технологическим процессом его получения / А.Н. Сочнев, Г.М. Садчикова, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. / СГТУ. Саратов, 2007. С. 206-209.
5. Сочнев А.Н. Анализ возможности использования дозировок сульфенамида и серы в качестве управляющих воздействий на параметры вулканизации резиновой смеси / А.Н. Сочнев, Г.М. Садчикова, В.П. Бирюков // Проблемы шин и резинокордных композитов: доклады 18 симпозиума / ООО «НТЦ «НИИШП». М., 2007. Т. 2. С. 169-175.
6. Математическая модель кинетики процесса вулканизации I (статья) и II (статья) / А.Н. Сочнев, Е.В. Свиридова, Г.М. Садчикова, С.Я. Пичхидзе // Композиты XXI века: доклады Международного симпозиума. Саратов, 2005.
7. Перемутьер В.М. Пакеты расширения Matlab. Control System Toolbox и Robust Control Toolbox / В.М. Перемутьер. М.: САЛОН-ПРЕСС, 2008. 224 с.
8. Медведев В.С. Control System Toolbox / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. М.: Диалог МИФИ, 1999. 287 с.
9. Методы классической и современной теории автоматического управления. Синтез регуляторов систем автоматического управления: учебник: в 5 т. Т.3 / под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 616 с.

#### **Климов Антон Павлович** –

аспирант кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

#### **Садчикова Галина Михайловна** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

**Бирюков Владимир Петрович** –

доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология и автоматизация машиностроения» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета

УДК 681.587.344.7

**А.П. Климов, Г.М. Садчикова**

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ  
ВЫСОКОЭЛАСТИЧЕСКИМ МОДУЛЕМ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

*На основании экспериментальных данных зависимости вулканизационных характеристик резиновой смеси от дозировок ингредиентов и экспериментальных кинетических кривых процесса вулканизации производится построение модели объекта управления качественными показателями резинотехнических изделий.*

**A.P. Klimov, G.M. Sadchikova**

**MATHEMATICAL MODEL OF TECHNOLOGICAL  
PROCESS OF MAKING OF RUBBER TECHNICAL PRODUCTS**

*Model of object of management by quality indicators of rubber products on the basis of experimental data of vulcanization characteristics of a rubber stock from dosages of components and experimental kinetic curves of process of vulcanization is made.*

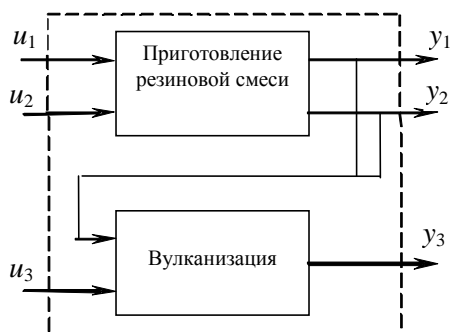


Рис. 1. Структурная схема объекта управления

В работе производится построение математической модели процесса производства резинотехнических изделий для синтеза многомерной системы управления качественными показателями готовых резинотехнических изделий. Необходимость создания такой системы управления обусловлена неполной обработкой данных возмущающих воздействий системой управления вулканизационными характеристиками [1-3] и наличием возмущающих воздействий на стадии вулканизации.

Структурная схема объекта управления приведена на рис. 1. Объект управления включает две последовательно включенные стадии: приготовления резиновой смеси и вулканизации. Наблюдаемый вектор управляемых параметров включает вулканизационные характеристики резиновой смеси:  $y_1, y_2$  – соответственно, максимальный момент сдвига и константа кинетики вулканизации резиновой смеси,  $y_3$  – высокоэластический модуль резины в готовых изделиях.

Управляющими воздействиями являются корректировки массовых дозировок серы  $u_1$  и сульфенамида  $u_2$  и температура процесса вулканизации  $u_3$ .

В качестве качественного параметра готового изделия принят высокоэластичный модуль резины, т.к. он отображает дефектности структуры резины на всех уровнях, что, в свою очередь, определяет разрывную прочность изделий.

В качестве качественного параметра готового изделия принят высокоэластичный модуль резины, т.к. он отображает дефектности структуры резины на всех уровнях, что, в свою очередь, определяет разрывную прочность изделий.

**Математическая модель стадии процесса приготовления резиновой смеси.** В [2, 3] получена модель, описывающая изменения параметров кинетики в зависимости от корректировки дозировок серы и сульфенамида:

$$\begin{cases} \Delta Y_m = b_{11} x_1 + b_{12} x_2 \\ \Delta T = b_{21} x_1 + b_{22} x_2 \end{cases}, \tag{1}$$

где  $\Delta Y_m, \Delta T$  – отклонения момента сдвига и постоянной времени уравнения кинетики ( $1/k(T)$ ) от средних значений на реальном процессе;  $x_1, x_2$  – отклонения масс дозировок серы и сульфенамида от регламентных значений;

Полученные оценки коэффициентов  $b_{11} = 0,095, b_{12} = 0,027, b_{21} = -0,0068, b_{22} = 0,026$ .

При принятии за период дискретизации продолжительности смены и использовании управляющих воздействий для корректировки режима приготовления партий следующей смены динамическая модель объекта управления в ABCD представлении будет иметь вид [5, 6]:

$$\begin{cases} x[n+1] = A \cdot x[n] + B \cdot u[n] \\ y[n] = C \cdot x[n] + D \cdot u[n], \end{cases} \quad (2)$$

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} 0,0950 & 0 \\ 0 & 0,0270 \\ -0,0068 & 0 \\ 0 & -0,0250 \end{vmatrix}, \quad C = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad D = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

**Математическая модель стадии процесса вулканизации.** Математическая модель стадии вулканизации построена на основании экспериментальных кинетических кривых вулканизации резиновой смеси 57-1016 на основе натурального каучука IRSS, полученные на реометре типа RC/3 «Momsanto» при температурах 140, 150, 155, 160, 165, 170°C [7, 8].

Анализ экспериментальных данных (рис. 2 а) показывает, что кинетические кривые содержат два участка – период активации  $\tau_{акт}$  и сигмоидальные кривые роста момента сдвига. С повышением температуры период активации уменьшается, а скорость вулканизации повышается. В конце процесса все кинетические кривые выходят на максимальный момент, который для различных температур практически одинаков. Имеется разброс, который можно считать случайным и объяснить разбросом параметров исходной резиновой смеси. При температурах 165 и 170°C имеет место снижение момента сдвига после выхода на максимальное значение, что объясняется наличием процесса деструкции.

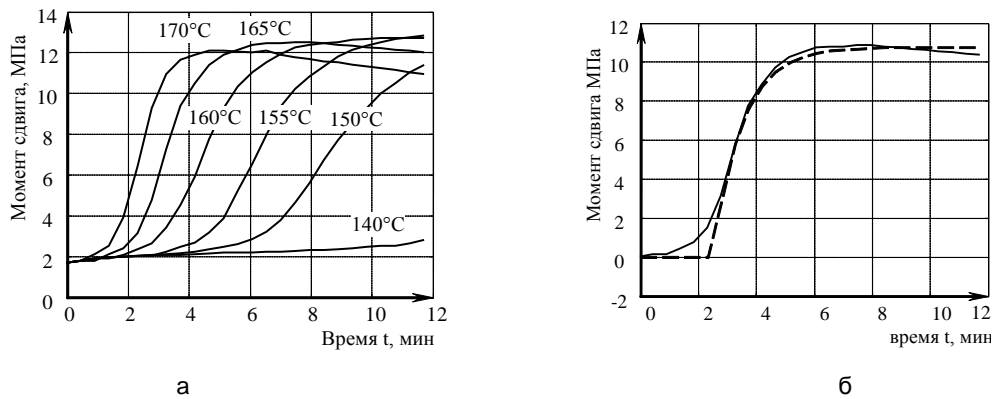


Рис. 2. Кинетические кривые: а – экспериментальные; б – экспериментальная и рассчитанная по модели

Описание экспериментальных кривых произведено уравнением кинетики 1-го порядка с учетом зависимости периода активации от температуры:

$$\frac{dm}{dt} = \begin{cases} 0, & \text{если } t < \tau \\ k_1(T)(M - m), & \text{если } t \geq \tau \end{cases} \quad (4)$$

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{bT}, \quad (5)$$

где  $m$  – момент сдвига;  $M$  – максимальное значение момента сдвига, получаемое в процессе вулканизации;  $\tau$  – период активации;  $k_1(T)$  – константа кинетики;  $b$  – постоянный коэффициент.

Зависимость константы кинетики от температуры описывается уравнением Аррениуса:

$$k_1(T) = k_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (6)$$

где  $k_0$  – предэкспоненциальный множитель;  $E$  – энергия активации.

Параметрическая идентификация модели произведена путем решения задачи нелинейного программирования. При этом получены следующие оценки параметров модели:

$$\tau_0 = 5 \cdot 10^{-11} (\text{мин}), b = 10812, k_0 = 2 \cdot 10^{13} (\text{мин}^{-1}), E/R = 13420.$$

На рис. 2 б для анализа адекватности приведены экспериментальный и рассчитанный по модели графики изменения модуля сдвига в процессе вулканизации при температуре 165°C. Оценка корреляционного отношения, показывающего, какая часть дисперсии экспериментальной кривой описана математической моделью, равна  $\eta^2 = 0,94$ .

При построении математической модели процесса вулканизации в пространстве состояний введены: параметр пространства состояний модуль сдвига  $m$ , управляющее воздействие – температура  $T$  вулканизации.

Подставив уравнение Аррениуса (6) в уравнение кинетики вулканизации 1-го порядка (3), получим дифференциальное уравнение:

$$\dot{m} = k \cdot e^{-\frac{E}{RT}} M - k \cdot e^{-\frac{E}{RT}} m. \quad (7)$$

Произведя линеаризацию уравнения, используя разложение в ряд Тейлора вокруг рабочей точки, введя коэффициенты  $a = -k \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$ ,  $b = k \cdot \frac{E}{RT^2} \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \cdot (M - m)$ , обозначив  $m = x$  получим следующее уравнение состояния стадии вулканизации

$$\begin{cases} \dot{x} = A \cdot x + B \cdot u \\ y = C \cdot x + D \cdot u. \end{cases} \quad (8)$$

Матрицы состояния, управления, выхода по состоянию, выхода по управлению равны

$$A = | -0,0168 |, B = | -0,0090 |, C = | 1 |, D = | 0 |. \quad (9)$$

С учетом коэффициента связи высокоэластического модуля резины с модулем сдвига, полученного в [9]  $E = 2,6149 + 0,2371M$ , математическая модель стадии вулканизации в ABCD представлении при аппроксимации звена запаздывания  $\tau = 2$ , учитывающего время выполнения лабораторного анализа резины готового изделия при помощи разложения в ряд Паде, имеет вид

$$A = \begin{vmatrix} 0,98 & 0 & -0,14 & 0,198 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0,15 & -0,295 \\ 0 & 0 & 0,40 & 0,439 \end{vmatrix}, B = \begin{vmatrix} -0,029 \\ 0 \\ 0,393 \\ 0,748 \end{vmatrix}, C = | 1 \ 0 \ 0,0064 \ 0 |, D = | -0,002 |. \quad (10)$$

Полная математическая модель процесса производства резинотехнических изделий в соответствии с рис. 1 имеет вид при значениях матриц:

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,98 & 0 & -0,14 & 0,20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -0,59 & 0,84 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,15 & -0,30 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,40 & 0,44 \end{vmatrix}, B = \begin{vmatrix} 0,095 & 0 & 0 \\ 0 & 0,027 & 0 \\ -0,0068 & 0 & 0 \\ 0 & -0,025 & 0 \\ 0 & 0 & -0,029 \\ 0 & 0 & -0,121 \\ 0 & 0 & 0,3925 \\ 0 & 0 & 0,7481 \end{vmatrix}, \quad (11)$$

$$C = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0,0064 & 0 \end{vmatrix}, D = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0,0022 \end{vmatrix}.$$

Построенная математическая модель процесса производства резинотехнических изделий получена в программном комплексе Matlab и предназначена для построения системы управления технологическим процессом качественными показателями резинотехнических изделий.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Постановка задачи управления характеристиками резинотехнических изделий / В.П. Бирюков, Г.М. Садчикова, А.Н. Сочнев, А.П. Климов, Е.С. Ефремов // Проблемы шин и резино-кордных композитов: доклады 17 симпозиума. Т. 1. М.: ООО «НТЦ «НИИШП», 2006. С. 61-69.
2. Система управления характеристиками резиновой смеси / А.Н. Сочнев, А.П. Климов, Г.М. Садчикова, Е.С. Ефремов, В.П. Бирюков // Проблемы шин и резино-кордных композитов: доклады 17 симпозиума. Т. 2. М.: ООО «НТЦ «НИИШП», 2006. С. 192-199.
3. Сочнев А.Н. Анализ возможности использования дозировок сульфенамида и серы в качестве управляющих воздействий на параметры вулканизации резиновой смеси / А.Н. Сочнев, Г.М. Садчикова, В.П. Бирюков // Проблемы шин и резинокордных композитов: доклады 18 симпозиума. Т. 2. М.: ООО «НТЦ «НИИШП», 2007. С. 169-175.
4. Сочнев А.Н. Анализ параметров состояния резиновой смеси для управления технологическим процессом его получения / А.Н. Сочнев, Г.М. Садчикова, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2007. С. 206-209.
5. Стрейц В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления; пер. с англ. / В. Стрейц. М.: Наука, 1985. 294 с.
6. Изерман Р.И. Цифровые системы управления: пер. с англ. / Р.И. Изерман. М.: Мир, 1984. 541 с.
7. Математическая модель кинетики вулканизации I / Е.В. Свиридова, Г.М. Садчикова, С.Я. Пичхидзе, В.П. Бирюков // Композиты XXI века: доклады Международного симпозиума. Саратов: СГТУ, 2005. С. 418-422.
8. Математическая модель кинетики вулканизации II / Е.В. Свиридова, Г.М. Садчикова, С.Я. Пичхидзе, В.П. Бирюков // Композиты XXI века: доклады Международного симпозиума. Саратов: СГТУ, 2005. С. 422-426.
9. Климов А.П. Экспериментальное исследование связи высокоэластического модуля с моментом сдвига вулканизата на реометре / А.П. Климов, Г.М. Садчикова, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2009. С. 128-133.

**Климов Антон Павлович –**

аспирант кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

**Садчикова Галина Михайловна –**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»  
Балаковского института техники, технологии и управления  
Саратовского государственного технического университета

УДК 658.562.011.012

**С.В. Мурин**

**КОМПЕНСАЦИЯ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ  
В КАНАЛЕ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

*Путем доработки технологического процесса мерсеризации с целью разнесения по частоте пика спектральной плотности возмущающего воздействия и амплитудной частотной характеристики замкнутой системы управления по возмущающему воздействию и ввода более быстродействующего управляющего воздействия по расходу рабочей щелочи решена задача отработки возмущающего воздействия в канале управляющего воздействия по расходу целлюлозы.*

## INDEMNIFICATION OF REVOLTING INFLUENCES IN THE CHANNEL OF OPERATING INFLUENCE

*By completion of technological process merserisation for the purpose of shift on frequency of peak of spectral density of revolting influence and the peak frequency characteristic of the closed control system on revolting influence and input of more high-speed operating influence under the expense of working alkali the problem of working off of revolting influence in the channel of operating influence under the cellulose expense is solved.*

В процессе решения задачи управления составом и вязкостью вискозы выявлено, что большое возмущающее воздействие, действующее на содержание альфа-целлюлозы и щелочи в вискозе, генерируется на стадии мерсеризации [1]. Анализ существующей системы управления мерсеризацией показал, что основным источником возмущающего воздействия является нестабильность по дозировке исходной целлюлозы. Это возмущение находится непосредственно в канале управляющего воздействия и имеет спектральные составляющие, находящиеся в зоне неэффективной работы обратной связи, в результате чего его влияние системой управления увеличивается. В статье решается задача обеспечения отработки возмущающего воздействия по подаче листов целлюлозы на стадии мерсеризации.

Процесс мерсеризации является начальной стадией технологического процесса получения вискозы и заключается в обработке целлюлозы раствором щелочи, в результате которой получается щелочная целлюлоза и создаются условия для диффузии сероуглерода внутрь целлюлозы в процессе ксантогенирования [2, 3].

Непрерывный процесс мерсеризации включает устройства подачи листов целлюлозы, дозирования рабочей щелочи и два последовательно включенных бака с мешалками, называемыми мерсеризатор и гомогенизатор. Задача управления процессом мерсеризации заключается в стабилизации модуля и уровня пульпы, получаемой при перемешивании целлюлозы в рабочей щелочи.

На отечественных предприятиях широко применяется система управления мерсеризацией (рис. 1), включающая системы регулирования модуля пульпы в мерсеризаторе  $x_1$  (Рег. 1) путем изменения скорости подачи листов целлюлозы и уровня пульпы в гомогенизаторе  $x_2$  (Рег. 2) путем изменения расхода рабочей щелочи в мерсеризатор. Уровень в мерсеризаторе стабилизируется системой перелива пульпы. Модуль пульпы на выходе  $x_3$  дополнительно сглаживается в гомогенизаторе.

Полученные при идентификации процесса мерсеризации штапельного производства ООО «БЗВМ» (г. Балаково) [4] передаточные функции по каналам: расход целлюлозы – модуль в мерсеризаторе, модуль пульпы в мерсеризаторе-модуль пульпы в гомогенизаторе, расход рабочей щелочи – уровень пульпы в гомогенизаторе имеют вид

$$W_1(p) = \frac{1}{1260p+1}, \quad W_2(p) = \frac{2,92}{1200p+1}, \quad W_3(p) = \frac{1}{p}.$$

Коэффициенты на структурной схеме равны  $k_1 = 4,60$ ;  $k_2 = -0,24$ ;  $k_3 = 0,6$ .

Особенностью системы управления процессом мерсеризации является наличие ограничения по скорости листоподачи вследствие применения вариатора и пневматического следящего привода для управления скоростью листоподачи. Математически это выражается в наличии нелинейного элемента насыщения по управляющему воздействию. Скорость листоподачи  $U$  в зависимости от расчетного значения управляющего воздействия описывается выражением

$$U = \begin{cases} U_0 + u, & \text{если } |u| \leq u_m \\ U_0 + u_m \operatorname{sign}(u), & \text{если } |u| > u_m \end{cases}. \quad (1)$$

Ограничения  $u_m$ , определяемые характеристиками привода листоподающей машины и исполнительного механизма, для установки мерсеризации типа УНМ 6-30 равны  $u_m = \pm 0,5$  м/мин. Начальное значение скорости листоподачи  $U_0$  выставляется оператором при выводе технологической линии на заданную производительность.

При моделировании существующей системы оптимальные параметры ПИД регуляторов находились методом нелинейного программирования по квадратичному критерию [5]. В результате численного решения задачи оптимизации получены следующие значения параметров регуляторов:

$$K_{P1}=29,8, K_{I1}=0,0002, \\ K_{D1}=0,0002 \\ K_{P2}=3,31, K_{I2}=0,0003, \\ K_{D2}=0,0003.$$

Моделирование работы системы при стохастическом возмущающем воздействии  $f_1$  (рис. 1) по плотности листов на листоподающей машине показало, что данное возмущение системой управления концентрацией пульпы в мерсеризаторе не уменьшается, а увеличивается [4].

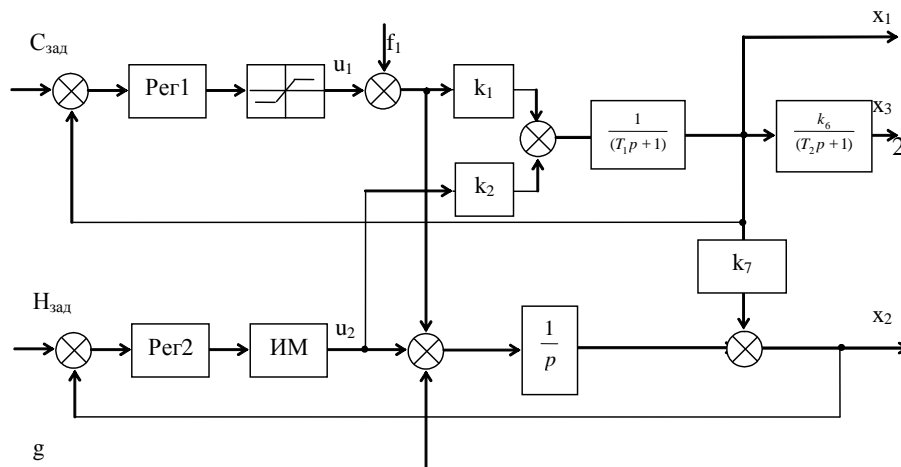


Рис. 1. Структурная схема существующей системы управления

При включении регулятора коридор колебания концентрации (модуля) пульпы повышается с  $\pm 4,2$  до  $\pm 5,9\%$  по шкале прибора модуля. Временные ряды концентрации пульпы с отключенным и включенным регулятором концентрации приведены на рис. 2 а. Факт повышения дисперсии модуля при включении регулятора на технологическом процессе подтверждается экспериментально.

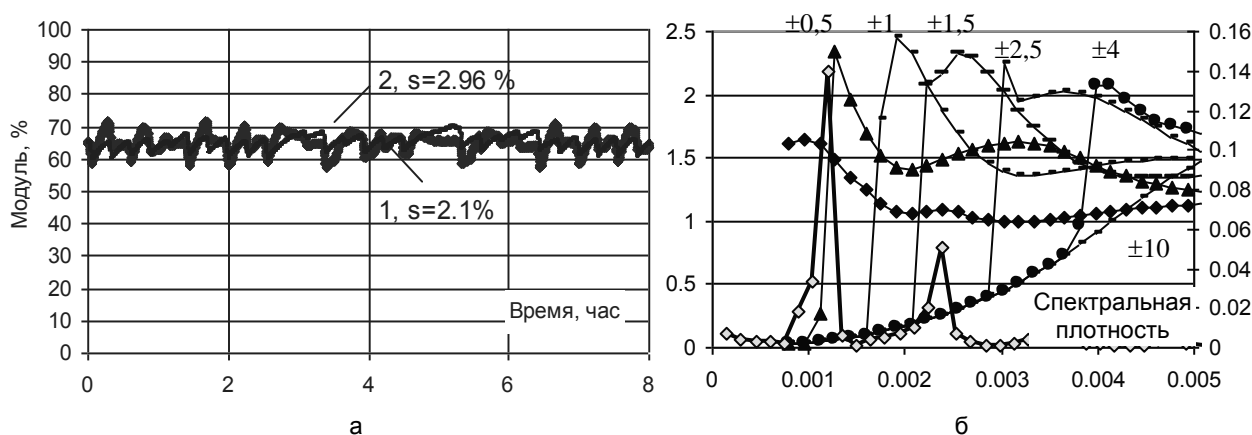


Рис. 2. а – временные ряды модуля пульпы без регулятора (1) и с регулятором (2); б – АЧХ замкнутой системы по возмущения при разных уровнях нелинейности и спектральная плотность выходной величины

Для выявления причин неэффективной работы системы с помощью специально разработанной программы путем подачи синусоидальных воздействий с различными частотами и обработки реакции системы построены амплитудно-частотные характеристики по возмущающим воздействиям при разных уровнях ограничения по скорости листоподачи и получена оценка спектральной плотности возмущающего воздействия. Графики полученных характеристик приведены на рис. 2 б.

На рисунке видно совпадение пиков спектральной плотности возмущающего воздействия с пиком АЧХ замкнутой системы по возмущению, причем значение АЧХ на частоте основной составляющей возмущения больше единицы. Это является причиной увеличения замкнутой системой влияния возмущающего воздействия по подаче листов целлюлозы.

Для уменьшения влияния возмущающего воздействия необходимо сместить пик АЧХ вправо по оси частот путем расширения ограничения по скорости листоподачи до уровня  $\pm 1,5$  м/ч для отработки основного пика спектральной плотности возмущающего воздействия (рис. 2 б) и до  $\pm 2,5$  м/ч для обеспечения отработки всех составляющих возмущения по подаче листов целлюлозы в мерсеризатор.

Вторым возможным вариантом повышения эффективности управления процессом мерсеризации является перераспределение управляющего воздействия между расходом целлюлозы и щелочи. Данная задача решалась путем построения линейно-квадратичного оптимального гауссова регулятора. Для синтеза регулятора методом статистической линеаризации построена линейная модель система объекта управления с учетом нового уровня ограничения по скорости листоподачи [6] и расширенная модель объекта управления процессом мерсеризации с формирующим фильтром возмущающих воздействий.

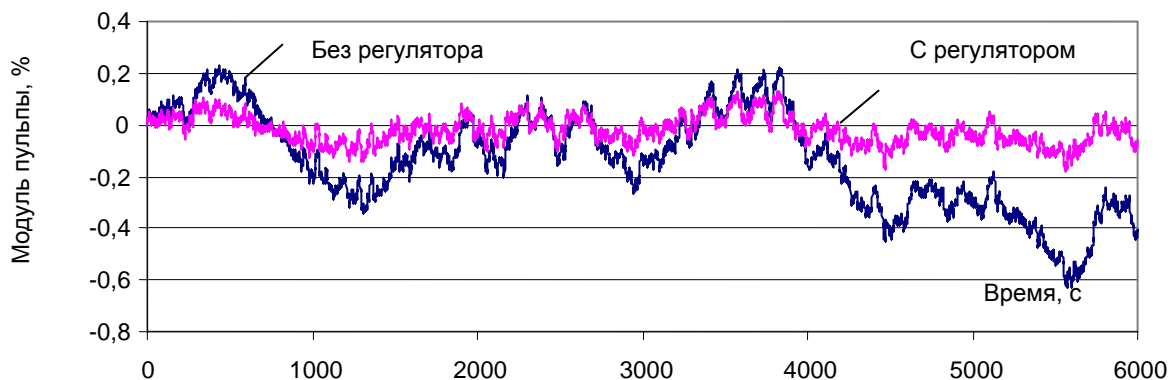


Рис. 3. Временной ряд модуля пульпы в мерсеризаторе

Моделирование работы данной системы при стохастических возмущающих воздействиях по плотности листов на листоподающей машине показало (рисунок 3), что разработанная система уменьшает ошибку содержания альфа-целлюлозы в пульпе от  $\pm 5\%$  до  $\pm 1\%$  концентрации или  $\pm 1$  г/л, что составляет относительно заданного значения  $\pm 2\%$ . При этом прогнозируемый разброс содержания альфа-целлюлозы в щелочной целлюлозе  $\pm 0,6\%$ , что допустимо технологическим процессом.

Таким образом, доработка объекта управления с целью разнесения по частоте пиков спектральной плотности возмущающего воздействия и АЧХ замкнутой по возмущению и использование более быстродействующего управляющего воздействия по расходу рабочей щелочи позволили отработать возмущения по неоднородности подачи целлюлозы, находящиеся в канале управляющего воздействия по расходу целлюлозы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мурин С.В. Анализ вариантов управления составом вискозы / С.В. Мурин, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. / СГТУ. Саратов, 2007. С. 122-128.
2. Роговин З.А. Основы химии и технологии химических волокон. Т. I / З.А. Роговин. М.: Химия, 1974. 520 с.
3. Грищенко А.З. Автоматическое управление в производстве химических волокон / А.З. Грищенко. М.: Химия, 1975. 96 с.
4. Мурин С.В. Анализ системы управления процессом мерсеризации / С.В. Мурин, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. / СГТУ. Саратов, 2007. С. 128-135.
5. Химельблау Д. Прикладное нелинейное программирование: пер. с англ. / Д. Химельблау. М.: Мир, 1975. 536 с.
6. Мурин С.В. Статистическая линеаризация исполнительного механизма системы управления процессом мерсеризации / С.В. Мурин, В.П. Бирюков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. / СГТУ. Саратов, 2008. С. 146-150.
7. Перемутьер В.М. Пакеты расширения Matlab. Control System Toolbox и Robust Control Toolbox / В.М. Перемутьер. М.: САЛОН-ПРЕСС, 2008. 224 с.
8. Медведев В.С. Control System Toolbox / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. М.: Диалог МИФИ, 1999. 287 с.

**Мурин Сергей Валерьевич** –

доцент кафедры «Технология и автоматизация машиностроения»

Балаковского института техники, технологии и управления

Саратовского государственного технического университета

УДК 681.5

**А.А. Серова, С.А. Игнатъев**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТАНКОВ  
ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ КОРРЕКТИРОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗЫ ДАННЫХ**

*Рассматривается внедрение системы мониторинга технологического контроля для оперативной корректировки технологического процесса деталей с использованием базы данных, что подразумевает создание экспертной системы (ЭС).*

**A.A. Serova, S.A. Ignatyev**

**THE AUTOMATED ESTIMATION OF DS OF RIGS  
FOR OPERATIVE CORRECTION OF PR OF DETAILS WITH USE OF A DB**

*A heading of system of monitoring of the technological control for operative correction of a process of details with database use that means creation of expert system (ES) is observed.*

Конкурентоспособность предприятия зависит от качества выпускаемой продукции. Повышение качества является одной из главных задач. Для решения этой задачи предлагается внедрение системы мониторинга технологического процесса (СМТП) [1]. СМТП включает методы и средства измерений параметров деталей, контроль и диагностирование оборудования, а также выбор и контроль технологических режимов.

Качество функционирования и использования средств мониторинга в значительной степени зависят от организации СМТП в рамках предприятия.

Под мониторингом машин понимается научно спроектированная система (средства и методы) непрерывных наблюдений и измерений с применением соответствующих оценочных процедур идентификации, анализа текущего состояния, распознавания особых состояний, краткосрочного (1-2 с) и долгосрочного (минуты, часы) прогнозирования и автоматического принятия оперативных и тактических решений [2].

Мониторинг технологического процесса (ТП) охватывает оборудование (станки), процесс обработки (режимы резания) и изготавливаемые детали (до и после обработки) [2].

СМТП реализуется на базе современных средств вычислительной техники, которые позволяют собирать, обрабатывать и представлять в удобной (требуемой) для пользователя форме информацию о состоянии ТП. Следовательно, возникает необходимость создания информационных систем нового поколения, не только обеспечивающих выполнение традиционных процедур, но и аккумулирующих опыт и возможности квалифицированных специалистов. Это объективно приводит к необходимости разработки экспертных систем (ЭС) обработки информации как составных частей АСУТП, САПР и системы технического обслуживания и профилактического ремонта (СТОиПР) по состоянию. При этом под ЭС следует понимать программный продукт, оперирующий со знаниями в определенной предметной области с целью выработки рекомендаций или решения возникающих задач [1].

При эксплуатации оборудования достаточно важными являются задачи оперативной оценки технического состояния станков и диагностирования в рамках СТОиПР по состоянию. При этом необходимо

решить также задачи идентификации состояния оборудования и классификации дефектов. Следует отметить, что наиболее существенной представляется оценка динамического состояния (ДС) станков [1].

Наиболее полную информацию о ДС оборудования предоставляют методы, основанные на исследовании виброакустических (ВА) колебаний отдельных узлов станков. Это объясняется тем, что вибросигналы позволяют обнаружить практически все виды зарождающихся дефектов в функционирующем оборудовании.

Принятие решений о классификации ДС ТО, то есть отнесение станков к определенному классу состояний, базируется на использовании экспертно-статистических методов, являющихся предпосылкой для создания ЭС.

В общем виде ЭС обычно представляют в виде совокупности трех основных частей: база знаний, машина логического вывода, интерфейс с пользователем.

ЭС, входящая в состав системы мониторинга качества изделий точного машиностроения, является гибридной, т.е. в ней используются не только методы представления и обработки знаний, получаемых в процессе мониторинга, размещенные в БЗ, но и средства обработки данных, содержащиеся в базе данных (БД). По типовой классификации ЭС она может быть отнесена к классу систем диагностического типа, где диагностируемой системой является производственное оборудование, а сама ЭС решает задачу выявления и классификации дефектов оборудования по преобразованному диагностическому сигналу [1].

В рассматриваемом случае диагностическими сигналами являются вибросигналы, снимаемые с основных узлов станка. В дальнейшем сигналы подвергаются преобразованию и помещаются в БЗ ЭС. Таким образом, задача идентификации вида дефекта может быть сведена к задаче распознавания образов.

Первым этапом построения ЭС необходимо реализовать систему сбора, обработки и формализованного представления априорной информации, то есть создать БД и БЗ системы. Далее необходимо провести обучение ЭС – наполнить БЗ системы знаниями, полученными в ходе предварительных исследований процессов развития дефектов оборудования.

Существует база эталонов, сформированная по нескольким категориям: эталоны исправных узлов; эталоны для распознавания моментов времени возникновения дефекта определенного типа; эталоны для идентификации стадии развития дефекта.

Эталон исправных узлов формируется в результате проведения обучающих экспериментов с исправным оборудованием.

Формирование эталонов для распознавания моментов времени возникновения дефекта определенного типа происходит в результате проведения экспериментов с оборудованием, находящимся на начальной стадии развития дефекта. В ходе экспериментов необходимо проводить постоянное сопоставление спектра сигнала с эталонным исправного узла. При появлении отклонений дальнейшие эксперименты прекращаются, эксперты классифицируют развивающийся дефект и заносят формализованную информацию в БЗ.

Категория эталонов для идентификации стадии развития дефекта создается на основе экспериментов с неисправным оборудованием или с искусственно созданными дефектами узлов.

Дальнейшее накопление знаний происходит в ходе эксплуатации ТО и передачи данных о его состоянии в СМТП, откуда пользователь системы может получить всю интересующую его информацию.

Таким образом, разработка ЭС и внедрение ее в систему мониторинга качества изготовления изделий точного машиностроения позволят вывести качество управления на новый уровень и повысить качество изделий за счет более гибкого обслуживания технологического оборудования [1].

Анализ известных работ в области мониторинга ТП механообработки показал, что существующие методы не полностью учитывают специфические особенности СМТП как сложной системы, выполняющей в общем случае функции контроля, идентификации, диагностирования, оценки технического состояния, прогнозирования и управления состоянием ТП на основе анализа информации и принятия решения как на уровне предприятия, так и на уровне цеха и индивидуально каждой единицы автоматизированного технологического оборудования [2].

Методологической основой при построении СМТП служит системный подход как начальный этап системного анализа, применяемого при исследовании сложных технических систем [2]. Многоаспектные исследования в соответствии с системным подходом позволяют получить достаточно полное представление об организации СМТП и ее взаимодействии с другими системами предприятия.

При организации СМТП важная роль принадлежит структурному анализу, позволяющему выделить ряд подсистем, необходимых для ее функционирования [2]:

- 1) организационная подсистема;
- 2) подсистема технического обеспечения;
- 3) подсистема научно-методического обеспечения;
- 4) информационная подсистема.

Представленная структура СМТП позволяет достаточно эффективно решить вопросы управления качеством продукции.

Опыт исследования вибраций станков различных типов, накопленный в СГТУ, показывает, что результаты измерения и анализа виброакустических колебаний следует использовать для решения следующих задач [4]:

- 1) мониторинг технического состояния станков для организации технического обслуживания по состоянию – гибкого технического обслуживания;
- 2) диагностирование основных узлов станков для локализации дефектов;
- 3) управление качеством обработки деталей;
- 4) оптимизация режима резания.

Вибрационный контроль и контроль других параметров станков, задействованных в технологическом процессе, а также регулярная вибродиагностика основных узлов станков должны отражаться в соответствующей документации, в частности, представляемой в электронной форме. В этом случае данные о состоянии станков будут доступны заинтересованным специалистам разного уровня – от мастеров и технологов цеха до главных специалистов предприятия, а не только специалистов лаборатории мониторинга. Целесообразным следует признать представление в электронной форме непосредственно в условиях цеха не только результатов мониторинга, но и конструкторской документации, которая может потребоваться при ремонте оборудования.

Необходимость оценки состояния станка может возникнуть перед началом обработки, в процессе обработки или после. Определение состояния станка перед использованием позволяет принять обоснованное решение о возможности или целесообразности его применения в технологическом процессе. Это касается, прежде всего, приводов подачи, шпинделей, подшипников и некоторых других узлов.

Информация о качестве деталей подшипников, изготовленных в том или ином цехе, представлена в СМТП в электронной форме и доступна всем заинтересованным специалистам.

Таким образом, контроль технологических процессов с использованием виброакустических методов позволяет не только повысить качество продукции, но и сэкономить рабочее время и трудовые затраты, а следовательно, повысить эффективность производства.

Принципиально возможны два подхода для контроля динамического состояния станков по ВА колебаниям. Первый подход базируется на периодическом контроле выбранного информационного параметра и сравнении его значения с пороговым, полученным на стадии обучающего эксперимента. Этот способ рекомендуется использовать для однотипных станков. Второй подход заключается в постоянном контроле изменений значений выбранного информационного параметра, характеризующего изменение динамического состояния станка и его узлов. Использование второго подхода предполагает оснащение системы активного контроля встроенными вибродатчиками и позволяет регистрировать и накапливать результаты измерений в СМТП.

Для достоверности автоматизированной оценки динамического качества станка необходимо обрабатывать результаты измеренных амплитуд вибраций станков и точности изготовленных деталей в реальном масштабе времени (рисунок) [5]. Данные с регистрируемыми в автоматическом режиме ВА колебаниями станков хранятся в БД ТО системы мониторинга и сравниваются с ВА колебаниями, полученными в результате обучающего эксперимента. После выявления факта изменения балла (4-балльная система) для данного станка учитываются баллы поверхностного слоя деталей [3].



Схема формирования автоматизированной оценки динамического состояния станка и ее использование в ТПП

Результаты сравнения и анализа изменения динамических характеристик, полученных при периодическом контроле в выбранных точках, и балльная оценка станков сохраняются в БД ТО. Современные возможности микропроцессорной и компьютерной техники с учетом статистической обработки информации из СМТП позволяют формировать диаграммы качества обработанных поверхностей и общего уровня вибрации станков в реальном масштабе времени.

Систематизация накопленных результатов мониторинга дает возможность оценивать реальное ДС станков и давать рекомендации для ремонта по текущему состоянию станков, а также корректировать маршрут обработки в САПР ТП путем обновления данных БЗ системы планирования, что обеспечивает максимальную загрузку оборудования в соответствии с его техническим состоянием, и соответственно снижает число бракованных деталей [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатьев А.А. Предпосылки построения экспертной системы для идентификации динамического состояния шлифовальных автоматов на основе вейвлет-преобразования вибрационных сигналов / А.А. Игнатьев, А.С. Песков, С.А. Игнатьев // Исследование станков и инструментов для обработки сложных и точных поверхностей: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2006. С. 44-49.
2. Игнатьев А.А. Организация системы мониторинга технологического процесса / А.А. Игнатьев, В.В. Горбунов, С.А. Игнатьев // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. С. 71-75.
3. Игнатьев А.А. Методическое обеспечение автоматизированной оценки динамического состояния шлифовальных станков для системы мониторинга процесса изготовления деталей подшипников / А.А. Игнатьев, И.В. Нестерова, С.А. Игнатьев // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2007. С. 78-83.
4. Игнатьев С.А. Основные задачи контроля вибраций станков при эксплуатации / С.А. Игнатьев // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2008. С. 75-79.
5. Игнатьев А.А. Автоматизированная оценка динамического состояния шлифовальных станков / А.А. Игнатьев, И.В. Нестерова // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ,

**Серова Анна Александровна** – ассистент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

**Игнатьев Станислав Александрович** – кандидат технических наук,



доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК 519.715

**Е.С. Барышникова, В.А. Иващенко**

### **МОДЕЛИ ЗНАНИЙ ОБ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА**

*Предложен подход к построению системы ситуационного управления, позволяющей повысить эффективность функционирования стекольного производства за счет своевременного принятия управленческих решений по ликвидации ситуаций, приводящих к нарушению нормального хода технологических процессов.*

**E.S. Baryshnikova, V.A. Ivaschenko**

### **THE MODELS OF KNOWLEDGE OF EMERGENCIES BY FLAT GLASS PRODUCTION**

*The method of construction of situation control system is suggested, that provide the opportunity to increase the efficiency of flat glass production by means of elimination of mishap situations.*

Трудности при идентификации возникающих в ходе производства стекла аварийных ситуаций связаны со сложностью объекта управления (ОУ) и условий его функционирования. При этом решения диспетчером должны приниматься оперативно, в реальном режиме времени, так как задержка в реализации управляющих воздействий (УВ) приводит к ощутимым экономическим потерям [1].

Все это делает невозможным применение для описания аварийных ситуаций на объектах стекольного производства классической теории управления, основанной на аппарате математических уравнений (алгебраических, дифференциальных, функциональных и др.), и формальных систем (логико-лингвистических моделей, основанных на языках, порождаемых контекстно-свободными и трансформационными грамматиками).

Решение данной проблемы для стекольных производств может быть получено на основе методов искусственного интеллекта [2], которые в отличие от классической теории позволяют осуществлять построение логико-лингвистических моделей, обеспечивающих высокую степень адекватности описания аварийных ситуаций, возникающих на ОУ.

Собранные с помощью экспертного анализа сведения представляются в виде таблиц решений, наиболее адекватно отражающих описания аварийных ситуаций [3]. Применение таблиц решений сводится к проверке условий, описывающих ситуацию, и выбору УВ, переводящих ОУ из предаварийной или аварийной ситуации в штатный режим. При этом таблица решений играет роль трансформационных правил, преобразующих ситуацию. Таблично заданные ситуации позволяют легко разбить их на классы, соответствующие выбираемым решениям.

Подаваемое на вход таблицы решений описание ситуации сравнивается с определяющим набором для каждого класса ситуаций и при совпадении с каким-либо набором выбирается соответствующее УВ.

Представленное таким образом описание аварийных и предаварийных ситуаций позволяет легко и быстро выбрать соответствующее решение при возникновении аварии. В случае, когда решение не может быть однозначно определено, используется процедура обучения. Таблицы решений позволяют создать достаточно простую систему управления производством листового стекла в аварийных ситуациях.

Для создания интеллектуальной системы управления используются реляционные, объектные и ассоциативные модели знаний (рисунки).

В основу построения **реляционных моделей** положены теория отношений и математическая логика. При этом используются их предикативная, продукционная или лингвистическая формы.

*Предикативная* форма реализуется с помощью унификации резолюций и поиска в глубину и ширину. Является наиболее строгой и доказательной. Поддерживается в виде языка логического программирования PROLOG.

*Продукционная* форма является менее строгой. В ней отсутствует строгая формализация – допускаются эвристические компоненты. Используется вывод по прямой и обратной цепочке (дедуктивный вывод) или на основе обобщения примеров (индуктивный вывод). Поддерживается программно специализированными средствами, например системой OPS-5.

*Лингвистическая* форма является развитием продукционной, поддерживается специализированными языками типа ATNL.

От таблиц решений легко перейти к реляционным моделям. Для этого осуществляется построение системы продукций, отражающей состояние ОУ. Эта система включает причины возникновения аварий и УВ для ликвидации их последствий.

Ситуация, возникающая в процессе функционирования ОУ, описывается системой продукций:

Если  $R_{i1}$  or  $R_{i2}$  or ... or  $R_{in}$ , то  $S_i$ ;

Если  $P_{i1}$  and  $P_{i2}$  and ... and  $P_{im}$ , то  $S_i$ ;

Если  $S_i$ , то необходимо выполнить  $D_{j1}$  and  $D_{j2}$  and ... and  $D_{jk}$ ,

где  $R_{ij}$  – возможные причины возникновения аварийной ситуации;  $P_{ik}$  – признаки, характеризующие аварийную ситуацию;  $S_i$  – наименование аварийной ситуации;  $D_{j\ell}$  – действия, необходимые для предотвращения и ликвидации последствий аварийной ситуации;  $j, k, \ell$  – априори известные константы.

Далее вся совокупность продукций разбивается:

– на продукции, позволяющие по ранее имеющим место ситуациям определить текущую ситуацию;

– на продукции, позволяющие по совокупности зафиксированных признаков идентифицировать ситуацию;

– на продукции, определяющие набор действий, который необходимо выполнить в текущей ситуации.

Работу данной системы можно описать следующим образом.

На вход системы поступает информация с ОУ. Если возникшая ситуация может привести к аварии, то выдаются рекомендации по предотвращению и ликвидации ее последствий. По результатам поступающей с измерительных приборов информации также определяются, какой является текущая ситуация – аварийной или внештатной, и выдаются соответствующие рекомендации для диспетчерского персонала.

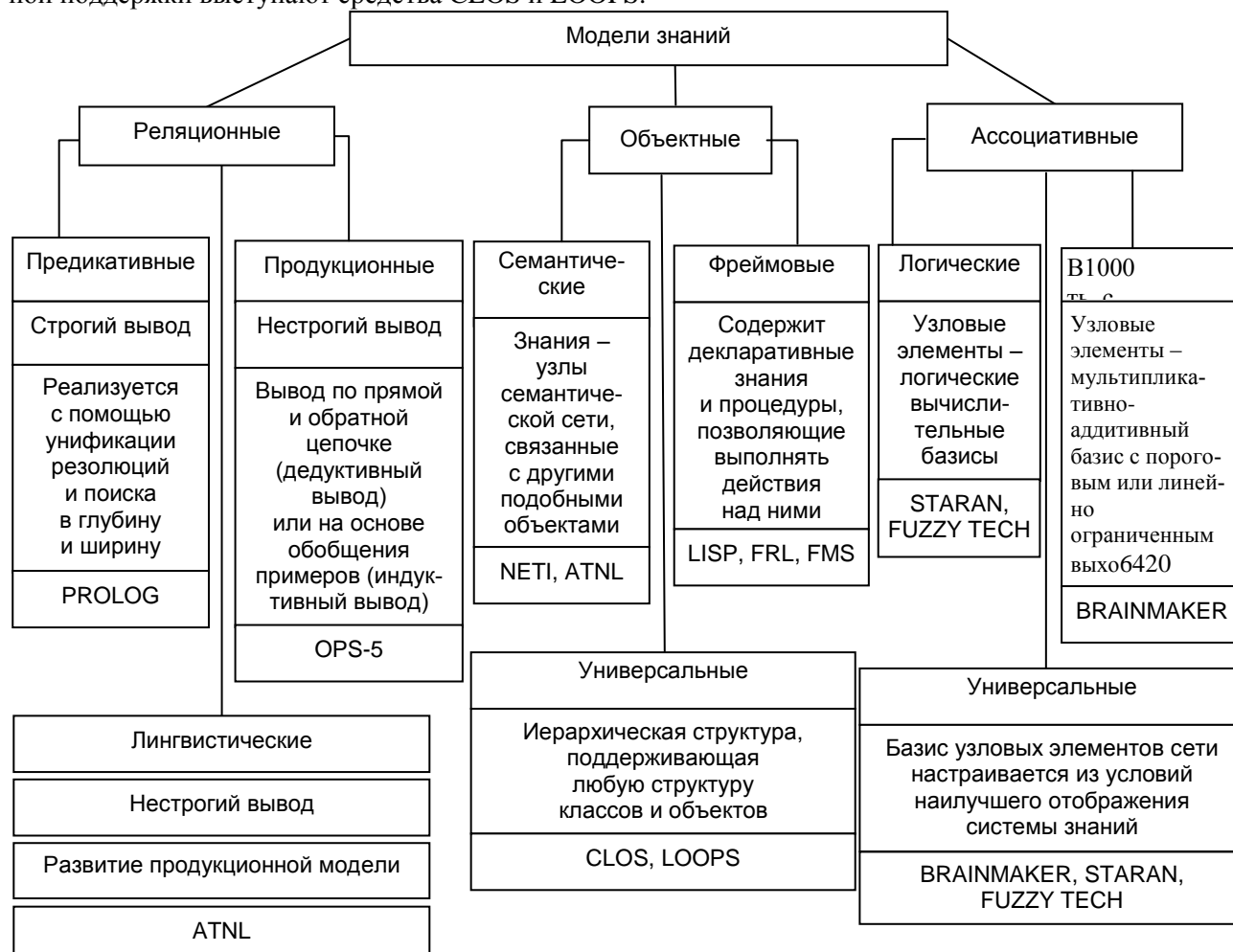
**Объектные модели** знаний основаны на теории семантических и фреймовых сетей. Основным понятием в этой модели является объект знания. В самом простом случае объект знания – это понятие в узле семантической сети. В более сложном случае объект знания представляет собой фрейм, содержащий декларативные знания и процедуры, позволяющие выполнять некоторые действия над ними.

Выделяются семантическая, фреймовая и универсальная формы объектных моделей знаний.

*Семантическая форма* является наиболее простой и поддерживается специализированными языками семантических сетей NETI, ATNL.

Большими возможностями в построении сложных иерархических систем знаний обладает *фреймовая форма*. Для поддержки фреймовых моделей используются языковые средства LISP, FRL, FMS и др.

Наибольшей программной поддержкой в настоящее время обладает *универсальная форма*, которая часто используется в практических разработках сетевых систем знаний. В качестве программной поддержки выступают средства CLOS и LOOPS.



Классификация моделей знаний

Рассматривается в виде объекта знаний аварийная ситуация.

Вся информация фрейма ситуации хранится в базе данных реляционного типа в виде следующих атрибутов: наименование аварийной ситуации, причины аварийной ситуации, признаки аварийной ситуации, временные характеристики аварийной ситуации, список действий по предотвращению и ликвидации последствий аварии.

При возникновении аварийной ситуации в базе знаний по признакам аварийной ситуации находится соответствующий фрейм, по которому диспетчером определяются вероятные причины аварии, время ее протекания, а также действия, необходимые для предотвращения и ликвидации ее последствий.

**Ассоциативные модели** имеют логическую и нейронную формы.

*Логическая форма* основана на использовании в узловых элементах сети логических вычислительных базисов: предикатного, продукционного и семантического.

*Нейронная форма* предполагает использование в узловых элементах мультипликативно-аддитивного базиса с пороговым или линейно ограниченным выходом. Сила связи трактуется как сила синаптических связей нейронов и определяется только путем обучения.

Универсальная форма ассоциативной модели знаний использует базис узловых элементов сети, настраиваемый из условий наилучшего отображения системы знаний.

В качестве программных средств, поддерживающих эти модели, выступают STARAN, BRAINMAKER, FUZZY TECH и др.

Наиболее перспективным направлением в развитии искусственного интеллекта является **ситуационное управление**, в основу которого положены лингвистические средства моделирования ситуаций и представления знаний.

Ситуационное управление использует язык, для формирования лексики которого необходимо определить описания возникающих на ОУ ситуаций и процедур их преобразования, а также необходимых управлений в этих ситуациях. В качестве основных компонентов языка выступают понятия, имена, отношения и действия.

Словари понятий, имен и действий отражают все стороны функционирования ОУ, необходимые для решения поставленных задач. Эти словари полностью определяются семантикой предметной области.

Для формирования языка ситуационного управления в словаре понятий выделяются подмножества, характеризующие: обслуживающий персонал; обеспечивающие системы; ванну расплава; производимый продукт – стекло.

Кроме того, вводится подмножество понятий, отражающих их свойства.

Словарь отношений более универсален. Он включает стандартный набор правил [4]. Для решения поставленной задачи этот набор правил дополняется отношениями, специфическими для предметной области [2].

Основу описания ситуаций, возникающих на ОУ, составляет простая ядерная конструкция вида  $(q \text{ у } z)$ , где  $q, z$  – понятия или имена, а  $у$  – некоторое отношение между ними или действие, осуществляемое над ними. В крайние позиции простых ядерных конструкций возможна подстановка синтаксически правильных конструкций. При этом результат будет также синтаксически правильной конструкцией. Синтаксически правильная конструкция получается также при объединении синтаксически правильных конструкций знаками конъюнкций, отношений и действий. При этом получаются сложные ядерные конструкции.

После определения лексических компонентов языка осуществляется описание ситуаций на языке ситуационного управления. Для перевода описания ситуаций с естественного языка на язык ситуационного управления используется лингвистический процессор.

При функционировании в реальных условиях производства лингвистический процессор подает описание ситуации, возникшей на ОУ, на вход анализатора, который определяет наиболее близкие классы ситуаций, отражающие состояние ОУ. Выделяется обозримое для диспетчера количество классов, имеющих минимальные метрики. На основе полученной информации диспетчером принимается решение по управлению.

Это управление играет роль трансформационного правила, переводящего текущую ситуацию в новую ситуацию. Оно формулируется в терминах языка ситуационного управления. Для этого к уже рассмотренным выше словарям понятий, отношений и оценок добавляется словарь действий [2].

В сформированном пространстве ситуаций с помощью управлений осуществляем переход от одной ситуации другой таким образом, чтобы каждая вновь полученная ситуация становилась ближе к штатному режиму.

### Заключение

В условиях содержательных сведений о ситуациях, возникающих на объектах управления, необходимо использование интеллектуальных систем управления. Наиболее перспективными из этих систем являются системы ситуационного управления.

Системы ситуационного управления эффективны в условиях всевозможных нарушений в ходе технологических процессов, когда эти процессы не могут быть описаны количественно, что характерно для стекольных производств.

Система ситуационного управления, в основу построения которой положен предложенный подход, апробирована на тестовых данных, полученных с ОАО «Саратовстройстекло». Результаты апробации показали на целесообразность ее включения в состав интегрированной АСУ объединения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Р.И. Автоматизация производства листового стекла: учеб. пособие / Р.И. Макаров, Е.Р. Хорошева, С.А. Лукашин. М.: Изд-во АСВ, 2002. 192 с.

2. Барышникова Е.С. Система ситуационного управления производством листового стекла / Е.С. Барышникова, В.А. Иващенко // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. № 2 (38). Вып. 1. С. 91-96.

3. Резчиков А.Ф. Математические модели для описания аварийных ситуаций на производственных объектах / А.Ф. Резчиков, Е.С. Курышова, В.А. Иващенко // Проблемы и перспективы прецизионной механики и управления в машиностроении: материалы Междунар. конф. / ИПТМУ РАН. Саратов, 2002. С. 7-8.

4. Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. М.: Наука, 1986. 286 с.

**Барышникова Елена Сергеевна** –

научный сотрудник Института проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов

**Иващенко Владимир Андреевич** –

доктор технических наук, ведущий научный сотрудник

Института проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов

УДК 658.562.3

**М.Б. Бровкова**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКИ  
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Предлагается применение математического аппарата искусственных нейронных сетей для определения параметров качества обработки деталей на металлорежущих станках на основе информации о структуре виброакустических колебаний в зоне резания.*

**M.B. Brovkova**

**INTELLECTUALIZATION OF MANAGERIAL DECISION MAKING PROCESS  
ON BASIS OF INFORMATION COMPUTER SUPPORT  
FOR AUTOMATED ENGINEERING OPERATION**

*The article deals with the use of artificial neural network mathematical tool for characterization of part processing quality with cutting machines on basis of tool zone vibroacoustic oscillation structure information.*

По результатам системного анализа сложного технологического оборудования обоснована и реализована информационная технология интеллектуализации принятия управленческих решений, являющаяся базовой для формирования оптимальных динамических свойств станка, которая в отличие от существующих в производственных условиях интегративно учитывает сложное слабоформализуемое взаимодействие детерминированных и стохастических составляющих динамических процессов, обеспечивающих и сопутствующих формообразованию. Эта технология универсальна и применима к многосвязанным, нестационарным, нелинейным динамическим структурам, которые характеризуют реальные динамические системы при резании для различного технологического оборудования.

Процедуры постоянного наблюдения за параметрами качества деталей на основе установления их соответствия характеристикам каких-либо электрических сигналов, адекватно отображающих закономерности изменения состояния динамической системы оборудования, позволяют решить проблему обеспечения заданной точности чистовой обработки деталей на металлорежущих станках. При этом следует учитывать, что между преобразующими свойствами динамической системы станка и параметрами качества обработанных на станке деталей существует явная взаимосвязь. Однако провести ее количественную оценку можно только при условии идентификации неявных соотношений между энергетическими возможностями и спектральными характеристиками нелинейных элементов. Выполнить такую идентификацию можно только специализированными методами теории распознавания образов, а в качестве математического механизма распознавания использовать искусственные нейронные сети (ИНС).

Распознавание параметров качества обработки детали на металлорежущем станке по виду спектра входного акустического сигнала является одним из направлений распознавания образов. То есть, произведя серию замеров параметров качества классическими методами (специальное оборудование), предварительно записав акустические колебания, можно обучить нейросеть в направлении установления соответствия между параметрами сигналов и качества детали. Впоследствии обученная нейросеть при подаче на ее вход вибросигнала распознает его и на выходе даст поставленные ему в соответствие в процессе обучения параметры качества детали. Распознавание может происходить непосредственно в процессе обработки детали.

Наибольшее использование для решения задач распознавания образов находят следующие нейросетевые методы: нейросетевой гауссов классификатор (*Neural Gaussian Classifier*), сеть Хопфилда (*Hopfield Net*), сеть Хемминга (*Hamming Net*), сеть Кохонена (*Kohonen's neural network*), сеть поиска максимума, классификатор Карпентера/Гроссберга, сеть встречного распространения (*Counterpropagation network*), сеть поиска максимума с прямыми связями (*Feed-forward max-Net*), сеть обратного распространения (*Neural Network with Back Propagation*), входная звезда (*Instar*), выходная звезда (*Outstar*). Мы провели теоретический анализ предложенных сетей, который показал, что использование некоторых сетей невозможно для поставленной задачи, так как они используют только бинарные входные данные. Другие нейронные сети не подходят, так как имеют схожую структуру алгоритма и имеют между собой незначительные расхождения. В результате были выбраны следующие нейронные сети для дальнейшего изучения: сеть встречного распространения, сеть обратного распространения и вероятностная сеть.

В сети встречного распространения объединены два хорошо известных алгоритма: самоорганизующаяся карта Кохонена и выходная звезда Гроссберга. Самоорганизующаяся карта Кохонена выполняет классификацию входных векторов в группы схожих. Это достигается такой подстройкой весов, что близкие входные векторы активируют один и тот же нейрон данного слоя. Обучение слоя Кохонена является самообучением, протекающим без учителя, необходимо лишь гарантировать, чтобы в результате обучения разделялись несхожие входные вектора. Задачей слоя Гроссберга является получение требуемых выходов. Фактически каждый нейрон слоя Гроссберга лишь выдаёт величину веса, который связывает этот нейрон с единственным ненулевым нейроном слоя Кохонена.

Обратное распространение является систематическим методом для обучения многослойных сетей. Основная идея этого метода состоит в распространении сигналов ошибки от выходов сети к её входам, в направлении, обратном прямому распространению сигналов в обычном режиме работы.

Архитектура вероятностной сети базируется на архитектуре радиальной базисной сети, но в качестве второго слоя использует так называемый конкурирующий слой, который подсчитывает вероятность принадлежности входного вектора к тому или иному классу и в конечном счете сопоставляет вектор с тем классом, вероятность принадлежности к которому выше.

Все предложенные нейронные сети это многослойные перцептроны, которые реализуют различные алгоритмы обучения. Но для выявления лучшей были предложены критерии:

1. Время обучения – время, за которое сеть научится правильно распознавать и классифицировать предъявленные ей образы.
2. Точность обучения – определение, какая из приведенных сетей точнее распознает и классифицирует входные образы.
3. Количество нейронов в скрытых слоях сети.

Сеть встречного распространения в 100 раз быстрее обучается, чем сеть обратного распространения, так как там производится меньше вычислений весов нейронной сети. Для вероятностной нейронной сети не требуется обучения в том смысле, какое требуется для сетей с обратным распространением ошибок, так как все параметры сети определяются непосредственно учебными данными. Поэтому время обучения зависит от количества обучающих примеров.

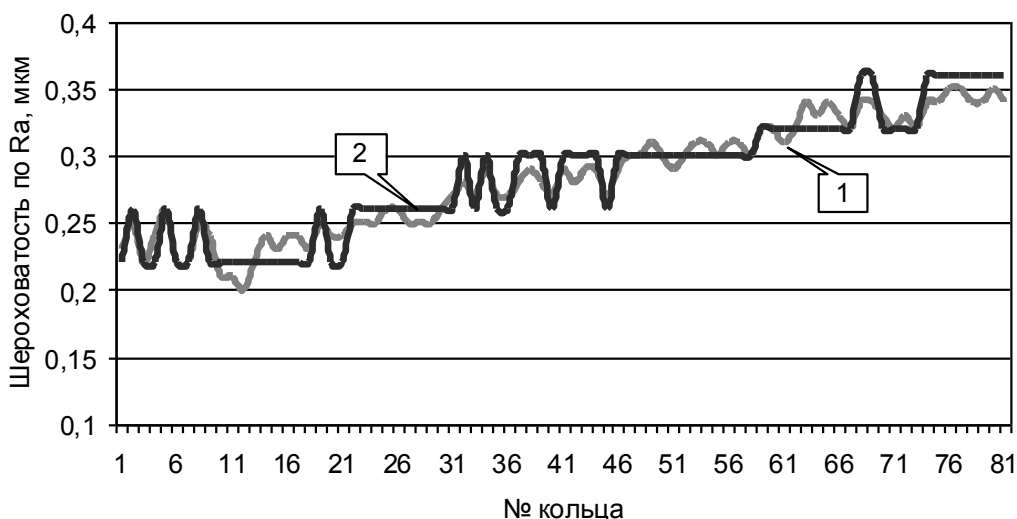
Точность обучения нейронных сетей можно сравнить только на практическом опыте для конкретно поставленной задачи, так как для различных задач результаты каждой сети могут быть различны.

В сети встречного распространения меньше всего нейронов скрытого слоя, так как только один нейрон является активным для одного входного образа в отличие от других сетей, где участвует каждый нейрон скрытого слоя. Количество нейронов скрытого слоя вероятностной сети соответствует количеству обучающих примеров.

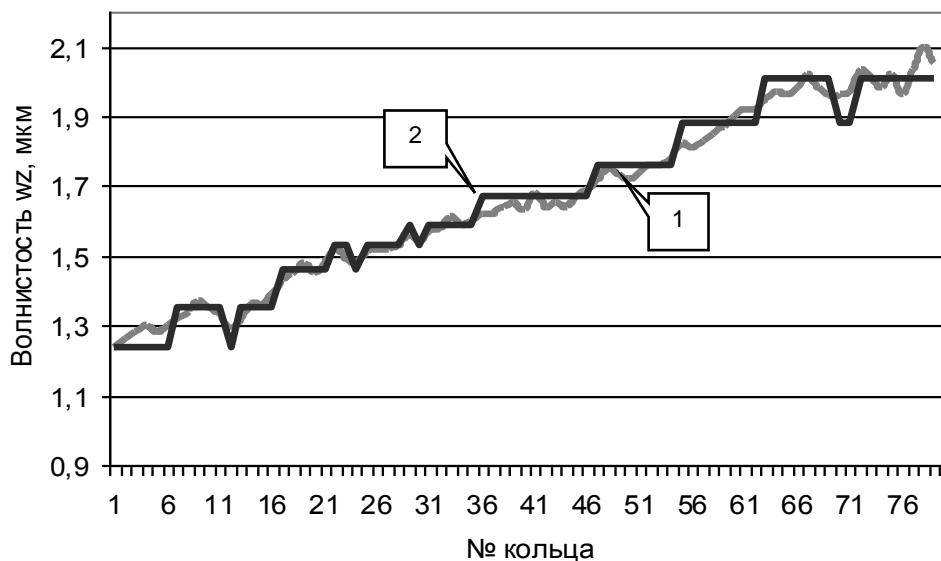
Таким образом, из сравнения сетей следует, что нейронная сеть встречного распространения является предпочтительней, хотя также представляет интерес вероятностная нейронная сеть, которая может давать отличные результаты при достаточном количестве обучающих примеров.

Было разработано алгоритмическое и программное обеспечение для автоматизированных систем мониторинга, позволяющее прогнозировать параметры качества обрабатываемой поверхности в режиме реального времени с использованием сети встречного распространения.

Для проверки корректности программного распознавания параметров качества были проведены измерения партии колец, обработанных на станке за период стойкости круга. На рисунке показаны совмещенные диаграммы изменения параметров, полученные при измерениях и выданные программой в виде прогнозов. Оценка точности прогнозов показала, что их ошибка не превышает значения 10-15%.







Результаты измерений (1) и программной идентификации (2) параметров качества шлифования колец подшипников

По предварительным экспериментальным оценкам применение математического аппарата искусственных нейронных сетей для определения параметров качества обработки деталей на металлорежущих станках на основе информации о структуре виброакустических колебаний в зоне резания позволит в 1,5 раза повысить точность обработки и сократить брак до уровня чисто случайных событий, не связанных с закономерностями изменения состояния станка или процесса резания.

**Бровкова Марина Борисовна** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем»

Саратовского государственного технического университета

УДК 004.94

**М.Б. Бровкова, О.И. Вислобокова, А.Н. Недопекин**

### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УЧЕБНОГО ПЕРЕВОДА С ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА**

*Предложены методы и критерии оценки качества перевода. Обоснована и разработана автоматизированная система оценки качества перевода с использованием оценки соответствия переведенного текста выбранной тематике, соответствия переведенного и переводимого текстов, связности переведенного текста.*

**M.B. Brovkova, O.I. Vislobokova, A.N. Nedopekin**

### **INFORMATIONAL ASPECTS OF TRANSLATION QUALITY ASSESSMENT AUTOMATION**

*The article proposes methods and criteria of translation quality assessment. It presents substantiation and development of automated translation quality assessment system with the use of evaluation of accordance of the translated text to the chosen subject, adequacy of the translated text to the original, coherence of the translation.*

В последнее время идет процесс увеличения объемов технической и международной документации, требующей перевода, чем, как правило, занимаются профессиональные переводчики, в том числе крупные переводческие агентства и бюро. Вырос также объем устных переводов, причем переводчикам приходится работать с разными темами, осваивая их подчас в рекордно короткие сроки. Большой проблемой достаточно часто является качество перевода. Поэтому очень важным является как процесс обучения переводчиков, так и постоянный процесс самоподготовки профессиональных переводчиков к каждому конкретному заданию. Естественно, что этот процесс нуждается в контроле и оптимизации. Таким образом, автоматизация оценки качества учебного перевода является задачей крайне актуальной.

Суть анализа качества перевода состоит в поиске ошибок. На основе качественных и количественных характеристик ошибок, содержащихся в тексте, и производится анализ качества перевода. Качественная характеристика ошибок определяется исходя из свойств ошибок. При выделении ошибок в переведенном тексте необходимо строго и четко классифицировать ошибки, а также оценивать степень их критичности, влияющей на качество перевода. В ходе проделанной аналитической работы, основанной на изучении теории перевода и общении с экспертами (преподавателем языкового вуза) были выявлены основные свойства ошибки.

Было принято решение оценивать возможность наличия ошибки на основе количественной характеристики, соответствующей количеству найденных страниц, содержащих запрошенное слово или словосочетание в Интернете через веб-сервис Yahoo.

Алгоритм оценки качества можно разбить на несколько подалгоритмов:

*1. Оценка соответствия переведенного текста выбранной тематике*

Для каждого переводимого текста существует выбранная преподавателем тема. Темы отличаются друг от друга названиями и ключевыми словами. Список ключевых слов содержится в свойствах проекта и включается в файл проекта при создании упражнения перевода для студента.

Так как поиск переводимого текста через веб-сервис Yahoo основан на максимальном количестве совпадений с ключевыми словами, мы в оценке соответствия переведенного текста выбранной теме будем исходить из правила, что в переведенном и переводимом текстах должно содержаться максимальное количество ключевых слов.

Если переведенный текст не соответствует выбранной тематике, то это является критичной ошибкой.

*2. Оценка соответствия переведенного и переводимого текстов*

Для оценки соответствия переведенного и переводимого текстов также используется словарь ключевых слов. Но в отличие от оценки соответствия переведенного текста выбранной теме мы проводим проверку на соответствие не только ключевых слов, но и употребляемых слово и словосочетаний, используемых в тексте.

Для проведения такого анализа нам необходим полный словарь, так как мы не ограничиваемся только поиском ключевых слов. Суть метода состоит в том, чтобы найти как можно больше совпадений слов в переведенном тексте и слов-аналогов на другом языке в переводимом тексте.

Если переводимый текст не соответствует переведенному, то это является критичной ошибкой.

*3. Оценка связности переведенного текста*

Оценка связности переведенного текста основана на полученной количественной характеристике совпадения слов, словосочетаний, предложений при поиске в Интернете через веб-сервис Yahoo (рис. 1).

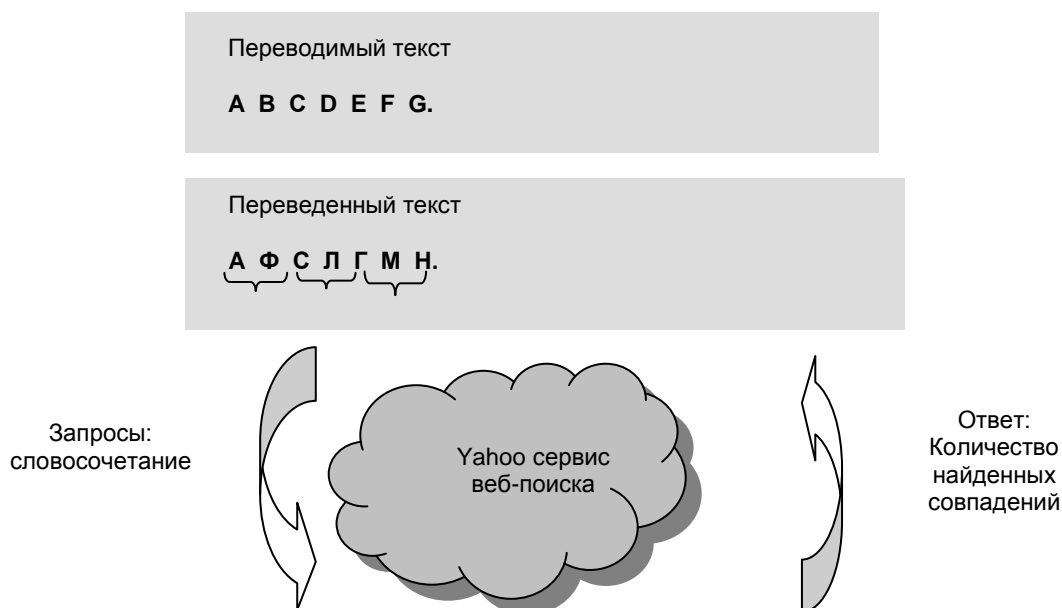


Рис. 1. Оценка связности перевода

#### ***Алгоритм выполнения запросов к веб-сервису Yahoo***

Текст-перевод разбивается на предложения, а предложения, в свою очередь, на слова. Максимальной величиной, запрашиваемой у модуля веб-поиска, является предложение. Результатом запроса является количество найденных страниц по данному запросу.

Допустим, в нашем предложении  $N$  слов. Вначале запрашивается по одному слову из предложения по порядку, начиная с первого. В результате запроса всех слов предложения получаем массив с количеством страниц по запросу. Далее запрашиваем по 2 слова – результат в виде массива с  $N-1$  элементами. В результате мы получаем дерево системы «кольчуга», где две вершины-родители уровня  $n$  имеют по одной общей вершине-сыну.

Результатом выполнения алгоритма запросов к веб-сервису Yahoo будет дерево результатов, соответствующее проведенным запросам. Дерево результатов содержит количественные характеристики, соответствующие числу совпадения слов, словосочетаний, предложения при поиске в Интернете через веб-сервис Yahoo. Для хранения и обработки результатов поиска был разработан и применен алгоритм работы с деревом типа «кольчуга». Количество таких деревьев будет равно количеству предложений в переведенном тексте.

#### ***Локализация ошибки***

Для локализации ошибки используется дерево результатов для каждого предложения. Для упрощения работы с деревом типа «кольчуга» (рис. 2) был разработан необходимый инструмент, который позволяет анализировать содержимое дерева, не задумываясь о способе его хранения и способах взаимодействия с ним.

#### ***Поиск наименьшего результата со сравнением соседей***

Немного усовершенствовав метод поиска наименьшего результата, мы сможем избавиться от его главного недостатка. Мы также выбираем самую нижнюю вершину дерева, от которой начинают расходиться потомки, и выбираем наименьшего из потомков. Далее из выбранной вершины выбираем ее наименьший потомок и так до тех пор, пока мы не дойдем до листа дерева. Дойдя до листа дерева, мы сравниваем порядок расхождения результатов с соседними листьями. Если порядок расхождения с соседними листьями порядка 1000 раз, то мы утверждаем, что в данном месте ошибка.

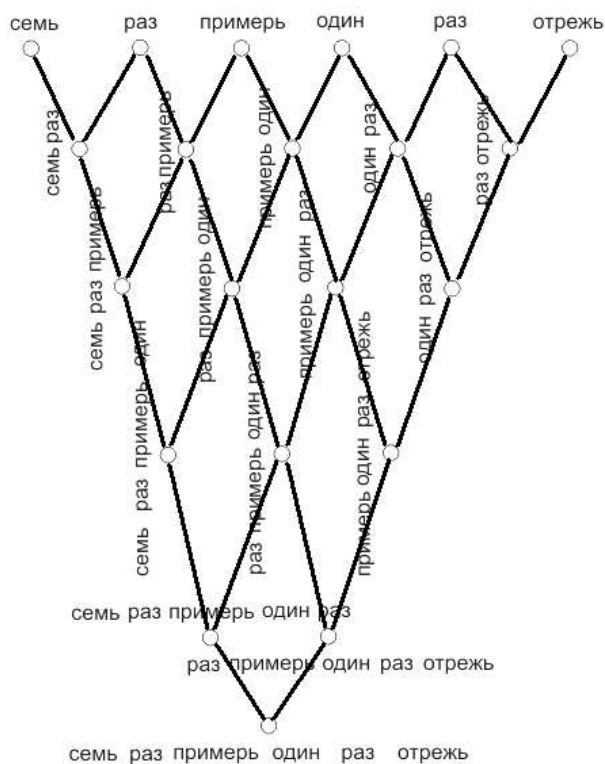


Рис. 2. Алгоритм выполнения запросов

Данный метод локализации ошибок хорош для поиска «глупых» ошибок, таких как опечатки либо очень очевидные ошибки.

#### **Поиск наименьшего результата по верхним уровням**

Метод поиска наименьшего результата со сравнением соседей помогает локализовать ошибки, но этот метод не учитывает возможность расхождения в популярности слов, используемых в предложении. Алгоритм поиска наименьшего результата по верхним уровням применяется при невозможности локализации ошибки алгоритмом поиска наименьшего результата со сравнением соседей. Дойдя до листа дерева, мы не можем утверждать, что ошибка найдена, так как соотношение с соседними листьями не столь велико. Таким образом, мы возвращаемся на уровень назад и сравниваем вершину с соседними в поисках направления наименьшей количественной оценки

Для оценки качества перевода используют ручной и автоматический метод локализации ошибки. Ручной метод позволяет преподавателю вручную выбрать ошибку, добавить ее в список ошибок и определить ее свойства. Автоматический метод, основанный на алгоритмах оценки количественных характеристик, указывает места возможных ошибок. Имеет смысл использовать следующую схему оценки качества перевода: вначале выполнить автоматический перевод для поиска пространственных ошибок и опечаток, а затем выполнить проверку вручную для поиска более сложных ошибок, не поддающихся локализации на данном этапе.

На основе полученных данным производится оценка качества перевода. При этом используются правила соответствия степеней критичности ошибок между собой: 1 критическая = 3 средним; 1 средняя = 5 легким. Оценка качества перевода проводится по привычной пятибалльной шкале. Таким образом, при заключительной оценке качества перевода текста мы используем следующую градацию: наличие 1 мелкой ошибки – оценка 5; наличие 1 средней ошибки – оценка 4; наличие 1 критической ошибки – оценка 3.

Для создания программного обеспечения использовалась среда разработки VC2008, язык C#, технология WPF. Структура разработанного приложения с точки зрения программирования состоит из 4 модулей: TranslateViewer – отвечает за отображение на экран всех результатов действий программы; TranslateError – отвечает за хранение списка ошибок; TranslateCheck – отвечает за локализацию ошибок и оценку качества перевода; Logging – вспомогательный модуль для программистов.

Автоматизированная система оценки качества учебного перевода позволяет оптимизировать труд преподавателя, автоматизировав наиболее затратные по времени и трудоемкие операции.

**Бровкова Марина Борисовна** –

доктор технических наук, профессор кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета

**Вислобокова Ольга Ивановна** –

старший преподаватель кафедры «Английская филология» Института филологии и журналистики Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

**Недопекин Александр Николаевич** –

магистр кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета

УДК 336.764/.768

**М.Б. Бровкова, А.А. Щеглов**

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СОВЕТНИКА  
ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА БИРЖАХ ММВБ И РТС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
АВТОРЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ СО СКОЛЬЗЯЩЕЙ СРЕДНЕЙ**

*Исследуются различные методы определения поведения ценных бумаг на биржах ММВБ и РТС на основе существующих правил: свечной анализ, анализ на основе индексов, осцилляторов, скользящих средних, уровни Фибоначчи, а также их сочетаний. На основе исследования разрабатывается автоматизированный советник для принятия решений на биржах ММВБ и РТС с использованием авторегрессионной модели со скользящей средней.*

**M.B. Brovkova, A.A. Scheglov**

**DEVELOPMENT OF AUTOMATED DECISION MAKING ADVISER  
FOR MCSE AND RTS STOCK EXCHANGE WITH USE  
OF AUTOREGRESSIVE MODEL WITH MOVING AVERAGE**

*The article examines various methods of defining securities behaviour at MCSE and RTS stock exchange on the basis of existing conventions: **candle analysis, analysis on the basis of indices, oscillators, moving averages, Fibonacci levels and their combinations.** Based on the research, automated decision making adviser for MCSE and RTS stock exchange is being developed according to the autoregressive model with moving average.*

С развитием компьютерных технологий, в том числе элементной вычислительной базы, торги на фондовом рынке стали осуществляться в режиме электронных торгов, что послужило началу развития компьютерного анализа фондового рынка и построению механических торговых систем (МТС). Но, несмотря на развитие компьютерных комплексов в данной области, мыслить и принимать важные решения необходимо людям. Автоматизировать торговлю возможно, но до определенного

предела. В вопросах автоматизации торговли самой сложной задачей является автоматическое исполнение поступившей заявки на покупку или продажу в зависимости от ликвидности рынка и внутрисуточного динамики цен.

Была разработана модель системы автоматизированного советника для принятия решений на фондовых биржах ММВБ и РТС с использованием авторегрессионной модели со скользящей средней (ARMA) и на ее основе программное обеспечение. Коэффициенты были подобраны с помощью метода МНК.

ARMA – это процесс следующего вида:  $a_p(L)X_t = \beta_q(L)\varepsilon_t$  или  $X_t = a_1X_{t-1} + \dots + a_pX_{t-p} + \varepsilon_t + \beta_1\varepsilon_{t-1} + \dots + \beta_q\varepsilon_{t-q}$ , если все корни полинома  $a_p(L)$  по модулю меньше единицы, то существует обратный оператор, который имеет вид:  $X_t = [a_p(L)]^{-1}\beta_q(L)\varepsilon_t$ . Его можно разложить в сумму элементарных дробей, каждую представить как бесконечно убывающую геометрическую прогрессию, то есть бесконечный операторный полином. При умножении на конечный полином мы получим вновь бесконечный полином. Выражение имеет смысл, если все характеристические корни полинома  $a_p(L)$  по модулю меньше единицы. Стационарность процесса ARMA определяется только его AR-частью. Условия стационарности ARMA процесса совпадают с условиями AR-процесса.

Процесс ARMA стационарный, если корни характеристического уравнения AR-части по модулю меньше единицы. Условия обратимости процесса можно записать с помощью выражения:  $\varepsilon_t = [\beta_q(L)]^{-1}a_p(L)X_t$ , которое полностью определяется условиями обратимости MA-части. Если MA-часть обратима, то и весь процесс обратим.

Если процесс ARMA стационарный, то он имеет обязательно  $MA(\infty)$  представление и конечное представление  $ARMA(p,q)$ . Математическое ожидание стационарного процесса ARMA равно нулю:  $E\{X_t\} = 0$ .

Автокорреляция  $ARMA(1,1)$  ведет себя так же, как автокорреляция  $AR(1)$ , начиная со второго номера, при этом первые автокорреляции этих процессов различаются. Для  $AR(1)$ , автокорреляция имеет вид:  $\rho_i = a_1^i$ . Для процесса  $ARMA(1,1)$   $\rho_1 \neq a_1$ ,  $\rho_1 = \frac{(a+\beta)(1+a\beta)}{a+\beta^2+2a\beta}$ . Начиная со второго номера,

значения автокорреляционной функции убывают экспоненциально. Для процесса  $ARMA(p,q)$  справедливо аналогичное утверждение, если процесс стационарен. Первые  $p$  значений автокорреляционной функции определяются через коэффициенты AR и MA-частей, а потом значения автокорреляционной функции выражаются в виде суммы экспоненциально затухающих слагаемых.

Для процесса  $ARMA(p,q)$ , начиная с номера  $\max(p, q+1)$ , автокорреляционная функция «затухает» подобно процессу AR и частной автокорреляционной функции процесса  $ARMA(p,q)$ . Для  $MA(q)$  автокорреляционная функция для больших  $q$ , равна нулю, влияние MA-части при  $k > q$  прекращается, действует только AR(p). Наоборот, частная автокорреляционная функция для процесса  $AR(p)$  для  $k > p$ , равна нулю. То есть  $AR(p)$  перестает влиять на частную автокорреляционную функцию, и остается только влияние  $MA(q)$ .

Если процесс детерминированный, то математическое ожидание равно  $\mu = \frac{\theta}{a_p(1)}$ , где

$\theta = a_p(1)\mu = \text{const}$  – это некоторая константа.

Существует класс нестационарных рядов, которые взятием последовательных разностей можно привести к стационарному виду, а именно к виду ARMA.

Для оценки коэффициентов модели  $AR(p)$   $X_t = a_1X_{t-1} + \dots + a_pX_{t-p} + \varepsilon_t$  обычно применяется метод наименьших квадратов (МНК). Поскольку регрессоры относятся к предыдущим моментам времени, а  $\varepsilon_t$  – белый шум, то корреляция регрессоров со случайным возмущением  $s_t$  отсутствует.

МНК не дает несмещенных оценок, а дает состоятельные оценки, несмотря на то, что присутствует стохастический регрессор, где  $s_t$  – белый шум. Если дополнительно белый шум является гауссовым, то значения  $X_t$  распределены нормально, а оценки коэффициентов, произведенные МНК, состоятельны и асимптотически нормальны. Нормальность оценок достигается только асимптотически. Если данные имеют ненулевое выборочное среднее, то можно либо вычесть это среднее из данных и строить регрессию без свободного члена, либо строить регрессию со свободным членом  $\Theta$ .

Для оценки математического ожидания можно использовать две статистики:  $\bar{X} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T X_t$  и  $\bar{\mu} = \frac{\bar{\theta}}{1 - a_1 - a_p}$ , в которой использованы оценки МНК. Для гауссова процесса  $\varepsilon_t$  обе оценки состоя-

тельны, асимптотически нормальны и независимы от оценок параметров модели, полученных МНК. Для моделей скользящего среднего невозможно аналитически выразить остаточную сумму квадратов через значения реализации  $X_t$  и параметры модели, следовательно, необходимо применить МНК.

На этапе разработки программного обеспечения были решены следующие задачи:

#### 1. Выбор средства программирования

В качестве средств программирования были доступны:

- язык QUPILE системы QUIK;
- создание plug-in'а для QUIK на языке C++;
- встроенный язык макрокоманд MetaStock;
- разработка собственного ПО на языке C# на платформе .Net Framework 3.5.

Рассмотренные средства: язык QUPILE, QUIK API для plug-in'ов, а также встроенный язык макрокоманд MetaStock – сильно ограничены с точки зрения программиста и не дают полной свободы действий, а язык QUPILE еще и ограничен в средствах графической интерпретации.

Разработка собственного ПО не ограничивает свободу действий для программиста, но имеет собственный недостаток: в отличие от остальных средств, стандартные для данной предметной области алгоритмы (расчет индикаторов, распознавание свечных паттернов) приходится реализовывать самому. В качестве средства программирования были выбраны язык C# 3.0 и платформа .Net Framework 3.5.

#### 2. Выбор способа передачи данных

Существует 3 способа экспорта данных из QUIK:

- напрямую из QUIK в Metastock, данный способ малоэффективен из-за частых разрывов и низкой скорости передачи;
- из QUIK в Excel через DDE, данный способ также малоэффективен, т.к. возможно переполнение очереди DDE сервера и часть данных будет потеряна, кроме того, это требует постоянно запущенного MS Excel;
- экспорт данных из QUIK в базу данных через драйвер ODBC, данный способ наиболее удобен, т.к. накладывает наименьшие требования к базе данных, взаимодействие с базой осуществляется через драйвер ODBC как со стороны QUIK, так и со стороны разрабатываемого ПО.

Таким образом, был выбран экспорт данных через ODBC. Т.к. в QUIK невозможен экспорт текущих данных о ходе торгов (экспорт свечей), была разработана программа на языке QUPILE, которая создает в QUIK таблицу с необходимыми данными, которую потом можно экспортировать.

#### 3. Реализация алгоритма (стратегии)

При разработке ПО были созданы следующие классы:

- Класс контейнер данных, задача данного класса – хранить загруженные данные
- Класс загрузчик данных, задача данного класса – загрузка данных в контейнер из выбранного источника (в данном случае источником является база данных)
- Класс работы со свечными паттернами, задача данного класса – распознавать в режиме реального времени в потоке входных данных свечные паттерны. Для распознавания паттернов использовалось формализованное словесное описание данных паттернов (например: молот – свеча белого или черного цвета, с короткой или отсутствующей верхней тенью и нижней тенью в 2 раза большей тела).
- Базовый класс индикатора и набор классов индикаторов, задача данных классов – расчет различных индикаторов (например: RSI, ADX, Stochastic) в режиме реального времени.
- Базовый класс правило и набор классов правил, задача данных классов – генерация советов на покупку/продажу на основе заложенных в них правил, индикаторов и свечных паттернов.

Такая структура классов позволяет неограниченно расширять возможности анализа данных о ходе торгов, а также выбирать наиболее оптимальные правила и их параметры в режиме реального времени, что является наиболее ценным.

Были протестированы акции различных компаний на различных временных интервалах, результаты тестирования являются объективными показателями. Предложенные правила торговли совместно с

использованием плавающих стопов показали хороший результат в реальных условиях на рынке ММВБ. Как и любая система, она не идеальна, что говорит о случаях, что система бывает убыточной.

Был проведен анализ убыточных позиций, который показал, что данная система неоптимально работает при боковом тренде. Также влияние оказывают гэпы, они превышают уровни стоплоссов, что ведет к постоянному вылету из рынка и перезаходу в него снова. Тем самым теряется существенная часть прибыли. Из этого можно сделать вывод, что система плохо работает, если рынок не ликвидный и не волатильный, что служит поводом дальнейшей доработки системы под этот процесс в будущем.

**Бровкова Марина Борисовна –**

доктор технических наук, профессор кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем»  
Саратовского государственного технического университета

**Щеглов Антон Алексеевич –**

магистр кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 658.562+330.105

**М.Ю. Пименов**

**ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ  
В ЗАДАЧЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

*Представлен подход к описанию структурной организации объектов диагностирования для дальнейшего использования полученной информации на следующих этапах процедуры поиска дефектов. Обоснована целесообразность использования для этих целей графоаналитических моделей, а именно полихроматических графов.*

**M.Y. Pimenov**

**STRUCTURAL DESCRIPTION OF ELECTRO-TECHNICAL TOOLS  
IN TECHNICAL DIAGNOSING**

*Approach to structural description of technical objects and its application for the next diagnosing stages are shown. Involving graphs, particularly polychromatic graphs, into structural description is argued.*

Моделирование объектов диагностирования является одним из наиболее значимых этапов процедуры выявления неисправностей. Это объясняется тем, что дефектное состояние отличается от номинального, моделируемого. Подобное отличие выражается в выходе контролируемых параметров из допустимых зон. Причем отклонение параметров от номинального значения объясняется дефектом определенного узла (или даже подсистемы) или группы узлов. Ниже предлагается рассмотрение наиболее часто применяющихся подходов к описанию целевого объекта, основной акцент сделан на графоаналитических моделях. Последние позволяют учесть взаимное влияние компонентов, воздействие неисправности на основные пути распространения сигналов.

Аналитические модели [1] используются для оценки изменения статических и динамических характеристик объекта диагностирования. Как правило, это дифференциальные и алгебраические



уравнения, а также полученные на их основе передаточные функции звеньев и системы. В случае сложных многоконтурных объектов производят построение моделей в пространстве состояний. Неисправности в таком случае представляются в виде отклонений коэффициентов при вход-выходных переменных и переменных состояния.

Сети Петри [2] относятся к методологии систем дискретных состояний. Они имеют возможность контролировать процессы, протекающие в системе. Таким образом, динамическая составляющая выносится в модель целевого объекта, а модель диагностирования упрощается. Система разбивается на функциональные блоки, каждый из которых окрашен в соответствии со своей функцией. Расширением подобных моделей, использующих сети Петри, может являться использование иерархической надстройки с целью агрегирования меньших функциональных блоков в более крупные.

Ориентированные графы [1] используются для определения минимального набора точек, с которых снимаются показания о вход-выходных зависимостях, необходимых для вынесения непротиворечивого диагноза. Таким образом, достигаются показатели наименьших времени и стоимости диагностирования. Кроме того, они позволяют объединять в единой модели компоненты разной природы. С другой стороны, имеются трудности при формализме систем с обратными связями.

Направленными графами описывается причинно-следственная связь развития неисправностей. Факт неисправности, зафиксированный на выходе системы, может быть охарактеризован множеством компонентов, один из которых вышел из строя. Такой набор компонентов называют либо конфликтом, либо кандидатом.

К графоаналитическим моделям прибегают в том случае, когда аналитические модели либо излишне сложны, либо неизвестны. Использование графов для описания моделей объектов диагностирования, во-первых, позволяет достичь наглядности, а во-вторых, учесть влияние компонентов, составляющих объект, на контролируемые параметры.

Граф можно построить на основе функциональной схемы объекта. В общем случае это пара

$$G(A, C),$$

где  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  – множество вершин;  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  – множество ребер.

Кроме того, используются понятия отображения, матрицы смежности, матрицы достижимости.

Отображение представляет собой вектор вершин, в каждый из которых входит направленная ветвь от текущей вершины:

$$O(a_i) = \{a_k, a_j\} \text{ при } a_i \rightarrow a_k \text{ и } a_i \rightarrow a_j.$$

Матрица смежности – квадратная, размерностью  $m \times m$  – служит показателем связи отдельных вершин:

$$S = [s_{ij}],$$

$$s_{ij} = 1 \text{ при наличии связи между } a_i \text{ и } a_j;$$

$$s_{ij} = 0 \text{ при отсутствии связи между } a_i \text{ и } a_j.$$

Матрица достигаемости – квадратная, размерностью  $m \times m$  – показывает наличие прямого пути от одной вершины к другой:

$$R = [r_{ij}],$$

$$r_{ij} = 1 \text{ при условии, что существует прямой путь от вершины } i \text{ к вершине } j;$$

$$r_{ij} = 0 \text{ в обратном случае.}$$

Ниже предлагается способ описания структуры целевого объекта с помощью полихроматического графа. С одной стороны, это – ориентированный граф, описывающий состав системы и соединение компонентов на данном уровне абстракции. С другой стороны, использование полихроматической нотации позволит выделить функциональные особенности, весовые характеристики каждого из компонентов. Эта информация в дальнейшем будет утилизирована диагностической моделью.

Полихроматический граф [3] отличается от обычного тем, что отдельные вершины и ребра могут быть окрашены одновременно в несколько цветов. Таким образом, описываются различные свойства, характеристики, атрибуты и показатели объектов. Разные цвета описываются в терминах контуров:  $i$ -й цвет вершины (или ребра) в полихроматических графах соответствует контуру  $F_i$ .

Полихроматическим графом называется шестёрка

$$PG = (A, C, F(A), F(C), [A \times F(A)], [C \times F(C)]),$$

где  $A$  – множество вершин;  $C$  – множество ребер;  $F(A)$  – множество контуров всех вершин;  $F(C)$  – множество контуров всех ребер;  $[A \times F(A)]$  – булева матрица контуров, определяющая раскраску отдельных вершин;  $[C \times F(C)]$  – булева матрица контуров, определяющая раскраску отдельных ребер.

Используя полихроматические графы для моделирования объекта диагностирования, ставят целью формализовать:

- многообразие компонентов и их разновидности (если необходимо);
- декомпозицию компонента на составляющие (результат – малый ПГ-граф);
- соединение компонентов (или ассоциации) и их типизация (если необходимо);
- объекты, являющиеся функциями (в данном случае рассматривается информация на допусковые зоны) индикации режима работы системы (исправна/неисправна).

Таким образом, предлагается таблица соответствия между основными понятиями графа и структурной композицией объекта диагностирования (таблица).

Сопоставление понятий структурного описание объекта диагностирования

Полихроматический граф	Объект диагностирования	Варианты структур
Вершины	Компоненты системы	Подсистемы, модули, узлы, блоки
Рёбра	Соединения (с направлением распространения сигналов)	Взвешенные связи, определяющие влияние компонентов друг на друга
Множество контуров всех вершин, $F(A)$	Типы компонентов системы	Простой, составной, сумматор
Множество контуров всех рёбер, $F(C)$	Типы соединений системы	Прямого распространения (Выход → Вход); Внешнее воздействие (или взаимное влияние; Выход → Объект); Обратная связь (Выход → Сумматор)
Булева матрица контуров вершин, $[A \times F(A)]$	Матрица соответствия компонентов системы и их типов	Определяются структурной моделью системы
Булева матрица контуров рёбер, $[C \times F(C)]$	Матрица соответствия соединений системы и их типов	

Каждый компонент системы, как видно из таблицы, может быть составным. Если, например, вершина графа обозначает подсистему, а процедура диагностирования однозначно выявила факт отказа данной подсистемы, то в дальнейшем работа продолжается именно с ней. Отказавшая подсистема также может быть представлена полихроматическим графом, для которого известна модель диагностирования. Однако рассмотрение ведется уже на другом уровне абстракции – более детальном; при этом выявляются отказавшие функциональные блоки и узлы.

Модель целевого объекта используется процедурой диагностирования на следующих этапах выявления факта отказа и места его возникновения.

Входной последовательностью всей системы (самый верхний уровень рассмотрения; система в этом случае рассматривается как композиция подсистем; неисправность локализуется с точностью до подсистемы) является тестовая комбинация. Информация о выходе контролируемых параметров за допусковые зоны используется для формирования пространства признаков, которое отображается на пространство состояний (диагнозов) компонентов системы на данном рассматриваемом уровне абстрагирования (здесь до подсистем).

Использование обычных графов затруднено в ряде случаев. Происходит это из-за многообразия свойств и характеристик вершин (компонентов) и ребер (связей), для описания которых у обычных графов нет механизмов. Традиционно основную трудность диагностирования составляют системы с обратными связями. Кроме того, взаимное влияние компонентов друг на друга также должно быть учтено. Введение же полихроматических графов как инструмента описания структурной организации объекта диагностирования поможет выделить свойства и атрибуты компонентов и соединений и учесть их вклад в общий вывод о работоспособности целевой системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Надёжность и диагностика автоматизированных станков: учеб. пособие / Б.М. Бржозовский, А.А. Игнатьев, В.В. Мартынов, М.В. Виноградов, В.А. Добряков; под ред. Б.М. Бржозовского. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2004. 156 с.

2. Kurt Jensen, ed. Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use / K. Jensen. Vol. 1. Springer-Verlag, 1992.

3. Павлов В.В. Структурное моделирование производственных систем / В.В. Павлов. М.: Мостанкин, 1987. 80 с.

**Пименов Михаил Юрьевич** –

аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»

Саратовского государственного технического университета

УДК 621.865

**Н.Н. Уткин**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ В ЭМУЛЯТОРЕ TOSSIM**

*Рассматривается методика и средства эмулирования работы беспроводной сенсорной сети виброакустического диагностирования динамической системы шлифовальных станков.*

**N.N. Utkin**

### **THE MODELLING OF THE VIBROACOUSTIC DIAGNOSING WIRELESS SENSOR NETWORK IN THE SIMULATOR TOSSIM**

*Methods and means of the work simulation of the grinding machine's dynamic system vibroacoustic diagnosing wireless sensor network is considering.*

Современные системы мониторинга преимущественно основаны на SCADA системах, включающих проводную сеть датчиков и программируемых логических контроллеров. С 2001 года ведутся работы по разработке инфраструктуры для технологии беспроводных сенсорных сетей (БСС) [1]. К данному моменту нет глубоких исследований в предметных областях, в частности в виброакустическом диагностировании динамической системы шлифовальных станков (ВДДСШС).

БСС – это сеть датчиков подключенных к миниатюрному устройству предварительной обработки. Это устройство известно в периодических изданиях под названиями мот (от англ. mote – пылинка) или узел беспроводной сенсорной сети. Каждый мот – это устройство первичного преобразования, АЦП, микропроцессорное устройство и радиоприемопередатчик. Мот имеет малые размеры и малое энергопотребление.

Для разработки системы ВДДСШС на уровне предприятия когда число мотов велико требуется осуществить моделирование системы в эмуляторе. Эмулятор позволит изучить несколько вариантов конструкции БСС и проанализировать взаимодействия между мотами. Эмулятор TOSSIM предназначен для эмулирования операционной системы (ОС) TinyOS [2]. ОС TinyOS устанавливается на мот.

На рис. 1 представлена архитектура эмулятора TOSSIM.

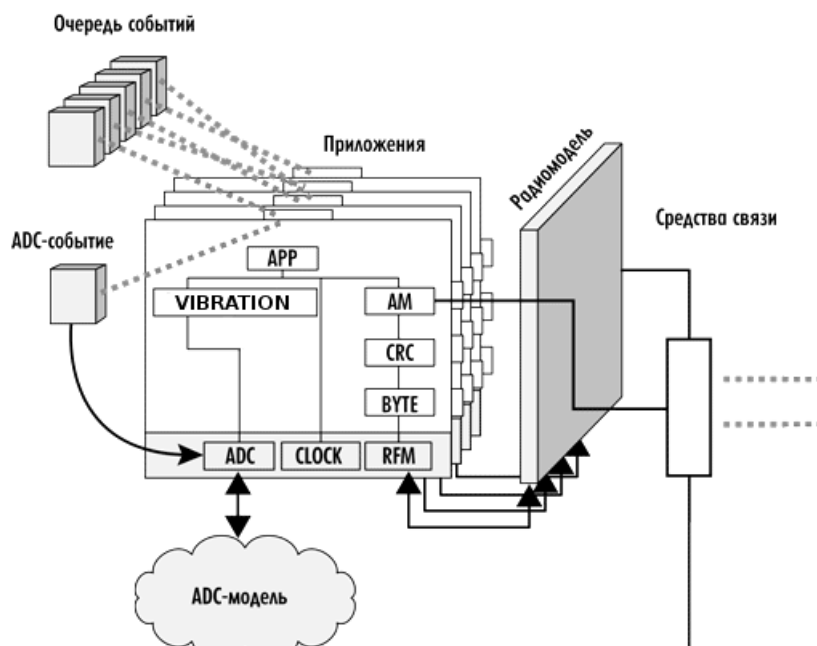


Рис. 1. Архитектура эмулятора TOSSIM

Механизм эмулятора обеспечивает множество коммуникационных служб для взаимодействия с внешними приложениями. Внешнее приложение – это компонент SCADA системы мониторинга вибрации.

Для визуализации взаимодействия мотов разработан инструмент TinyViz (рис. 2). Программа разработана на языке JAVA. Постоянно разрабатываются плагины для конкретных функций. Плагин датчиков позволяет настраивать значение входящего вибрационного сигнала в процессе эмуляции. Плагин радиомодели позволяет управлять взаимодействием между мотами в зависимости от их удаленности друг от друга.

Приложения TOSSIM, TinyViz и набор инструментальных средств разработки устанавливаются на IBM PC совместимый компьютер. Управление инструментальными средствами осуществляется через командный интерфейс.

Рассмотрим процесс движения сигнала о вибрациях в динамической системе шлифовальных станков. Пьезоэлектрический датчик передает сигнал на мот. Мот оцифровывает сигнал и этот сигнал обрабатывается TinyOS. TinyOS осуществляет передачу только критического сигнала или сигнала среднего значения в определенный промежуток времени. Обработанный на моте сигнал поступает на базовую станцию (БС). На БС установлена программная часть SCADA ВДДСШС, которая осуществляет завершающую стадию движения сигнала в виде топологии системы и параметров ее работы. Все данные сохраняются в базе данных. Модуль экспертной системы осуществляет мониторинг параметров и дает характеристику работы системы в целом. При возникновении отклонения параметров или аварийной ситуации экспертная система сообщит об этом оператору.

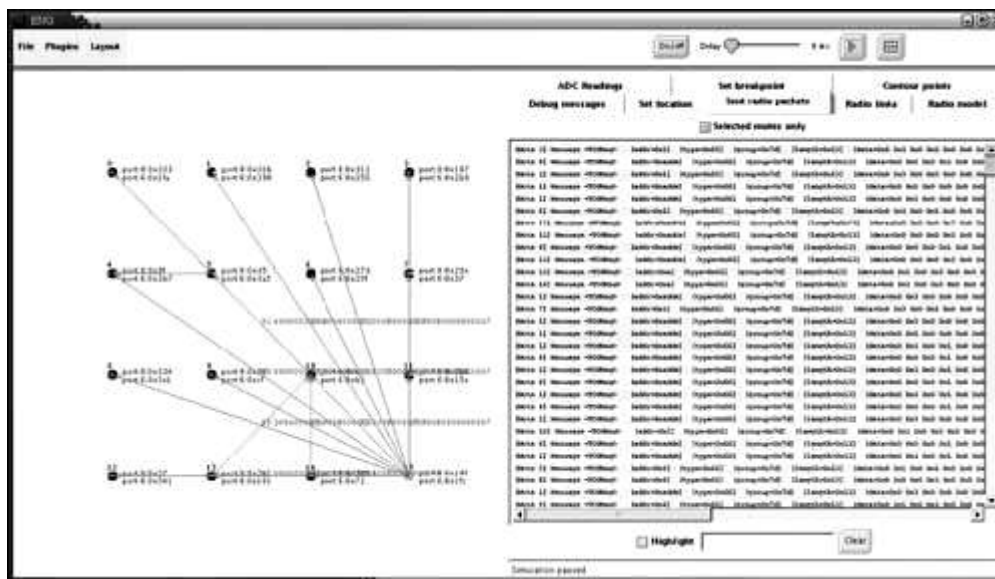


Рис. 2. Окно приложения TinyViz

В результате эмулирования была получена модель беспроводной сенсорной сети из 20 мотов. На вход было подано колебание в диапазоне 0-4кГц. Все данные успешно передавались на базовую станцию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Holger K. Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks: учеб. пособие / K. Holger, A. Willig. New York: Wiley, 2007. 524 с.
2. Gama J. Learning from Data Streams – Processing Techniques in Sensor Networks: учеб. пособие / J. Gama, M. Gaber. San Jose: Springer, 2007. 244 с.

**Уткин Николай Николаевич** –  
аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

## ЭКОНОМИКА

---

УДК 06.81

**С.А. Андриющенко, А.В. Сёмушкина**

### **РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ КООПЕРАЦИИ**

*Анализируется стратегия устойчивого развития для машиностроительных предприятий на основе кооперации, обеспечивающая достижение экономической выгоды, социальной пользы и экологической безопасности.*

**S.A. Andrjushchenko, A.V. Syomushkina**

### **WORKING OUT OF STRATEGY A SUSTAINABLE DEVELOPMENT FOR THE MACHINE-BUILDING ENTERPRISES ON THE BASIS OF COOPERATION**

*The article analyses strategy of a sustainable development for the machine-building enterprises based on cooperation, which gives the social advantage, ecological safety and providing achievement of an economic gain.*

В условиях финансово-экономического кризиса дальнейшее развитие отечественной промышленности во многом зависит от эффективного управления активами и развития взаимоотношений с партнерами на принципах кооперации (аутсорсинг, субконтракция и т.д.). В машиностроении в таких секторах, как автомобилестроение, станкостроение, сельскохозяйственное машиностроение, радиоэлектронная и электротехническая промышленность, производство оборудования для нефтегазового комплекса и железнодорожного транспорта, кооперация является основой создания конкурентных преимуществ. На долю субконтракторов здесь приходится до 90% от общего объема производства [1].

Субконтракция (субконтрактинг) – вид сделки, в ходе которой одно предприятие (контрактор) поручает другому (субконтрактору) осуществить изготовление некоторой продукции (деталей, комплектующих) в соответствии с предоставленными чертежами и требованиями. В некоторых случаях контрактор предоставляет субконтрактору необходимое для выполнения задания сырье и/или оборудование (но не обязательно); окончательный получатель товаров или услуг является третьей стороной, стоящей вне рамок договорных отношений между контрактором и субконтрактором [2].

Специалисты в данной области называют следующие выгоды от использования кооперации: повышение эффективности производства за счет специализации, быстрое внедрение в производство новой продукции, получение доступа к технологиям, использование дополнительных производственных мощностей и другие. Наибольший интерес для предприятий-субконтракторов представляет включение в цепочки снабжения крупного предприятия-контрактора на протяжении всего цикла производства продукта. Узкая специализация при постоянной загрузке обеспечивает предприятиям-производителям комплектующих (субконтракторам) интенсивное использование, быструю амортизацию и обновляемость их оборудования.

Однако получение этих выгод сопряжено с высокими рисками кооперационных отношений. Невыполнение обязательств одним из участников может привести к финансовым потерям всех участников кооперационной сети.

По мнению руководителей машиностроительных предприятий [2], основными факторами, сдерживающими развитие кооперации, являются:

- значительный физический и моральный износ станочного парка;
- недобросовестное поведение партнера в отношении сроков и качества;
- недостаточный уровень качества из-за отсутствия опыта производства, низкой квалификации персонала у малых предприятий;
- потеря информации при передаче технической документации, разработок и т.п.

Сформировать новые финансово-экономические предпосылки эффективного развития и решить многие вышеуказанные проблемы поможет разработка концепции устойчивого развития как для контрактора, так и для субконтрактора и в целом для кооперационной сети.

Обеспечение устойчивого эффективного развития предприятия – это достижение систем целей (социальных, экономических, технических и экологических) на основе последовательного осуществления принципа ответственности перед обществом. Другими словами, промышленное предприятие рассматривается не только как участник рыночных отношений, но и как элемент социальной, экономической и природной среды.

Следовательно, управление устойчивым развитием должно включать следующие положения:

1. Формирование целей промышленных предприятий и их достижение в сфере производства высококачественной продукции, охраны окружающей среды и в социально-экономической сфере.
2. Разработка принципов, методов, средств и форм управления предприятием, обеспечивающих достижение экономической выгоды, социальной пользы и экологической безопасности.
3. Управление процессами изменения промышленного предприятия с целью обеспечения сочетания эффективности производства с реализацией современных представлений о рациональном, сбалансированном использовании природных ресурсов, охране окружающей среды и обеспечения социальных потребностей человека [3].

Исходя из всего вышесказанного, можно сформулировать основные условия устойчивого развития машиностроительных предприятий, представленных на рис. 1.

Основной акцент в концепции устойчивого развития промышленного предприятия делается на обеспечении долгосрочных условий стабильности его функционирования.



Рис. 1. Условия устойчивого развития для машиностроительного предприятия

На основе изученного материала можно выделить следующие этапы разработки концепции устойчивого развития на уровне промышленного предприятия представленные на рис. 2.

Внедрение концепции устойчивого развития на машиностроительных предприятиях позволяет получить следующие эффекты: социальный (сохраняются рабочие места), экологический (обеспечение экологической безопасности, снижение уровня загрязнения окружающей среды при осуществлении производственных процессов, ориентация на экономное использование природных ресурсов), экономический (повышение конкурентоспособности за счет внедрения систем менеджмента качества, международных стандартов, в результате чего повышается качество выпускаемой продукции) и т.д.

Итак, концепция устойчивого развития направлена на разработку управленческих технологий своевременного распознавания назревающих конфликтов и противоречий. Устойчивое развитие становится возможным при соблюдении баланса между экономическими интересами и экологическими ограничениями. Устойчивое развитие машиностроительных предприятий на основе кооперации может дать максимальный эффект с минимальными затратами в долгосрочной перспективе.

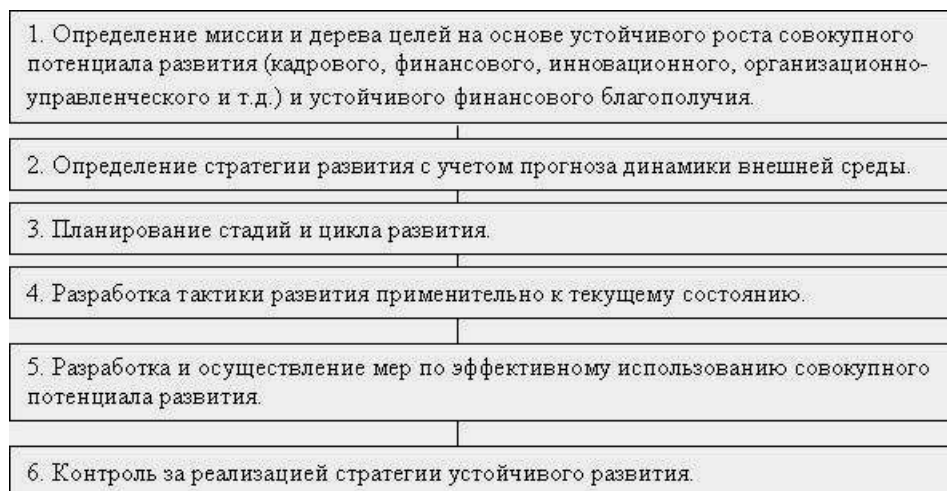


Рис. 2 Этапы разработки концепции устойчивого развития на уровне промышленного предприятия

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вагапов Р.Ф. Промышленная кооперация. Пути развития / Р.Ф. Вагапов // Баштех информ: Интернет-конференция. Доступ: [www.konf.bash.ru](http://www.konf.bash.ru).
2. Киселев А.Н. Субконтрактная модель производства: за и против / А.Н. Киселев // Субконтрактинг в России. Доступ: [www.subcontract.ru](http://www.subcontract.ru).
3. Лагутов В.В. Разные взгляды на устойчивое развитие / В.В. Лагутов // Informzedon. Доступ: [www.index.org.ru/eo](http://www.index.org.ru/eo).

**Андрющенко Сергей Анатольевич** –  
доктор экономических наук, профессор кафедры «Менеджмент, коммерция и право»  
Саратовского государственного технического университета

**Сёмушкина Алёна Викторовна** –  
магистрант кафедры «Менеджмент, коммерция и право»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 330.322

**Н.Г. Белоусова, И.Н. Пчелинцева**

#### **УЧАСТИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В СОЦИАЛЬНО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОГРАММАХ**

*Исследована проблема участия промышленных предприятий в социально-инвестиционных программах.*

**N.G. Belousova, I.N. Pchelintseva**

#### **PARTICIPATION OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES IN SOCIALLY-INVESTMENT PROGRAMS**

*The problem of participation of the industrial enterprises in socially - investment programs is investigated.*



Тема социальной ответственности бизнеса сегодня является актуальной и востребованной. Обсуждение этой проблематики инициировано в 1999 г. Организацией Объединенных Наций на различных международных встречах по экономическим вопросам на высшем уровне, включая ежегодные мероприятия в рамках Давосского форума. Таким образом, социальная ответственность бизнеса и осуществление предприятиями социальных программ – не просто придуманное кем-то сверху «задание» для предприятий, а явление международного масштаба. Предприятиям важно понять и оценить, насколько эффективны эти программы, как выбрать приоритеты в этом виде деятельности компании, кто может стать полноправным партнером в их реализации, как эта деятельность вписывается в планы компании и, вообще, существует ли необходимость быть социально ответственным и участвовать в социально-инвестиционных программах?

Многие предприниматели в своей основной деятельности придерживаются принципа «бизнес – это, прежде всего, извлечение прибыли». Любое предпринимательство создается для извлечения прибыли, но оно реализуется не в вакууме, а в определенной среде и при определенных обстоятельствах. Вот и получается, что социально ответственный бизнес – это не только благотворительные акции, но и формирование устойчивой среды для бизнеса, активное взаимодействие с обществом, а также его осмысленное влияние на политику властных структур и государственное управление, которое содействовало бы стабилизации экономики, реализации действенных гарантий собственности и ликвидации бедности.

Создание устойчивой среды, ликвидация бедности и многие другие социальные обязательства являются первостепенной задачей государства, но государство не всеильно. Оно располагает теми ресурсами, которые предоставили ему в распоряжение предприятия и общество. Общество, в свою очередь, должно быть обеспечено рабочими местами, возможностями приобретения профессиональных квалификаций, растить здоровых детей, заботиться о престарелых и т.д. Этот замкнутый круг взаимных обязательств заставляет формировать отношения партнерства и в равной степени нести обязательства друг перед другом. Ключевая роль и участие предприятий в решении задач социально-экономического развития создают стабильность и устойчивость в обществе, делает само предпринимательство стабильным.

Осуществление социальных проектов расширяет партнерские связи в предпринимательской среде (поставщики, страховые компании, рекламодатели, банки и т.д.) с органами государственного управления (соответствующие направления программ министерств и департаментов региональных администраций), с неправительственными организациями, осуществляющими аналогичные социальные проекты и выполняющими программы компании, средствами массовой информации. Предприниматели находят партнеров для создания механизмов влияния (цивилизованного лоббирования) своих интересов, в том числе в ходе законодательных инициатив, создают условия для постоянного диалога с предполагаемыми партнерами и расширения сфер влияния, создают новые элементы в системе государственного управления. Осуществление социальных программ ведет не только к позитивным изменениям в деятельности предприятий и созданию преимуществ в конкурентной среде, но и к повышению реальной экономической эффективности.

Но не только предприятия ощущают положительный экономический эффект. Для государственных структур позитивными последствиями взаимодействия участников процесса социального инвестирования могут быть возможность эффективного стратегического планирования социально-экономического развития страны и регионов, антикризисные процессы, снижение социальной напряженности, экономический рост.

Местное сообщество (в том числе и российские семьи), представителями которого являются общественные организации, имеют возможность получать качественные, необходимые им социальные услуги, что позволяет увеличить человеческий капитал и повышать качество жизни [2].

В России имеется опыт участия промышленных машиностроительных предприятий в социально-инвестиционных программах. Но это, в первую очередь, относится к крупным компаниям и корпорациям и, в меньшей степени, к среднему и малому бизнесу. Особенно слабо мотивирован к социальной ответственности малый бизнес, в значительной степени из-за отсутствия собственных свободных финансовых ресурсов. Причины неактивного участия промышленных предприятий в социально-инвестиционных программах определены как в ходе исследований, проведенных Ассоциацией менеджеров, так и в результате других исследовательских работ. Две из них, пожалуй, основные по оценке крупного бизнеса, находятся в поле взаимодействия «государство – бизнес». По оценкам предпринимателей государство проводит неэффективную политику в

области поддержки и поощрения социально ответственных компаний (47% опрошенных); отсутствует или не развита законодательная база, создающая благоприятные условия для социально ответственного бизнеса (41% респондентов) [1]. Также среди предпринимателей был проведен опрос на тему: «Какие льготы социально-ответственным промышленным предприятиям должно предоставлять государство?» Опросы дали следующие результаты: на первом месте «отсутствие налоговых льгот» (здесь отметим, что это противоречит мировой практике) и на втором месте «преференции по государственным заказам и экспертной поддержке» [1]. Стимулами для социально ответственного поведения респонденты также назвали «публичное признание высокой репутации социально ответственных компаний со стороны государства» и «доступ к льготному финансированию со стороны государства» (по последней позиции количество голосов почти в 4 раза ниже, чем по «налоговым льготам»).

Таким образом, можно сделать вывод, что краткосрочные приоритеты государства по поступлению средств в бюджет страны доминируют над стратегией долгосрочного социального развития, ограничивая развитие социально-инвестиционных программ. В отсутствие государственной поддержки в таком случае должна работать система стимулирования компаний для повышения эффективности социальных программ.

К проблемам реализации социально-инвестиционных программ можно отнести и недостаток квалифицированных кадров – менеджеров по управлению социальными программами компаний. В исследовании Ассоциации менеджеров «Социальный портрет российской компании» выявлено, что этой работой в основном занимаются кадровые службы – 56%, в ряде компаний функции возложены на PR службы. Только небольшое количество предприятий (29%) имеют специализированные подразделения по социальному развитию. Это, безусловно, снижает эффективность мероприятий социально-экономической направленности. Поэтому актуальным становится внедрение системы управления социально-экономическими программами, разработка соответствующей методологии и применение эффективных механизмов.

Совершенно очевидно, что социально-экономический эффект от предпринимательской деятельности – это рабочие места, налоги и другие поступления, качественная продукция и безопасность производства. Однако предприятия развиваются в рамках социально-экономической системы, и современные условия ведут к учету интересов развития других социальных партнеров как одного из важных факторов обеспечения благоприятных условий ведения деятельности. Для этого предприятия должны сами вкладывать ресурсы в развитие внутренней и внешней среды своего обитания, в частности в персонал, экологию, местное сообщество.

Спектр социально-инвестиционных программ включает такие направления как: пенсионное обеспечение, добровольное медицинское и индивидуальное страхование, финансовые услуги населению (потребительский кредит, ипотека и пр.), образовательные услуги, услуги транспорта и связи, жилищно-коммунальные услуги, энергоснабжение и пр., другими словами, все то, что необходимо для развития полноценной социальной инфраструктуры.

Говоря об участии промышленных предприятий в социально-инвестиционных программах, следует отметить, что под этим подразумеваются области и объекты социальной сферы, в которых по определенным правилам и посредством определенных механизмов возможно эффективное взаимодействие государства, предприятий и других заинтересованных субъектов с целью улучшения социальной инфраструктуры и, как следствие, повышение «качества жизни», так как на сегодняшний день осуществление социальных инвестиций без поддержки государства крайне затруднено.

Что же такое социально-инвестиционные программы предприятия? В научной литературе встречаются различные подходы к определению социально-инвестиционных программ. Одни авторы определяют социально-инвестиционные программы предприятия как добровольно осуществляемую предприятием деятельность в социальной, экономической и экологической сферах, которая носит системный характер, связана с ее миссией и стратегией развития бизнеса и направлена на удовлетворение запросов различных заинтересованных в деятельности компании сторон [1]. В других источниках социальные программы компании – это увязанные по ресурсам, исполнителям и срокам осуществления комплексы мероприятий, обеспечивающие эффективное решение приоритетных внутренних корпоративных социальных задач (внутренняя корпоративная социальная программа) или внешних социальных проблем территории пребывания (внешняя корпоративная социальная программа). При этом оба этих вида социальных программ, так же как и федеральные, и региональные целевые социальные программы, являются специфиче-

ской формой организации расходования средств бюджета компании с учетом норм федеральных законов (внутренние) или при долевом участии территориальных бюджетов (внешние) [3].

Внутренние корпоративные социальные программы, как правило, связаны с развитием персонала, охраной здоровья и созданием безопасных условий труда, с решением вопросов социально ответственной реструктуризации компании, с повышением эффективности ведения бизнеса.

Внешние же корпоративные социальные программы направлены на развитие местного сообщества, ведение добросовестной деловой практики, природоохранную деятельность, а также на укрепление репутации и имиджа корпорации.

Вопрос об участии предприятий в социальных программах остается открытым, «он напрямую увязывается в обществе с проблемами социальной справедливости, отражением которых является недопустимо высокая бедность, отсутствие у значительной части россиян доступа к качественным услугам образования, здравоохранения, культуры, нормального жилья и многих других, объективно необходимых для жизни условий» [4].

На сегодняшний день практика участия промышленных предприятий в социально-инвестиционных программах существует, но, к сожалению, она очень хаотична и непостоянна. Таким образом, возникает потребность в системе и методике социального инвестирования, а так как инвестирование всегда сопряжено с рисками и неопределенностью, необходимо разработать методы оценки рисков социального инвестирования, что обеспечит более уверенное участие промышленных предприятий в социально-инвестиционных программах. Систематизированный подход к процессу социального инвестирования более подробно раскроет предпринимателям, а также государственным структурам и местным сообществам положительные социально-экономические результаты и последствия участия в социально-инвестиционных программах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалова А.И. Управление социальными программами компании / А.И. Коновалова, М.И. Корсанов, В.Н. Якимец; под ред. С.Е. Литовченко. М., 2005.
2. Пчелинцева И.Н. Механизм социального инвестирования микроэкономических систем / И.Н. Пчелинцева. Саратов: СГТУ, 2008. С. 104.
3. [www.sprb.amr.ru](http://www.sprb.amr.ru)
4. [www.soc-otvet.ru](http://www.soc-otvet.ru)

**Белоусова Наталья Геннадиевна** –  
аспирант кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Пчелинцева Ирина Николаевна** –  
кандидат экономических наук,  
профессор кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 331.105

**О.В. Валгуцкова**

### **ОБОСТРЕНИЕ И РАЗРЕШЕНИЕ ПРОТИВОРЕЧИЙ В СОЦИАЛЬНО-ТРУДОВЫХ ОТНОШЕНИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ПЕРИОД ЭКОНОМИЧЕСКОГО КРИЗИСА**

*В условиях финансово-экономического кризиса руководство многих энергокомпаний вынуждено оптимизировать свои затраты, а именно сокращать затраты на персонал, что, в свою очередь, приводит к обострению противоречий в социально-трудовых отношениях в энергокомпаниях. Социальное партнерство выступает фор-*

*мой разрешения этих противоречий, которое способно изменить и вывести на новый уровень не только трудовые отношения, но и всю электроэнергетику страны.*

**O.V. Valgutskova**

## **AGGRAVATION AND RESOLUTION OF CONFLICTS IN SOCIALLY-LABOUR RELATIONS OF ELECTRIC POWER INDUSTRY IN AN ECONOMIC CRISIS PERIOD**

*In the conditions of financial and economic crisis the management of many power companies is compelled to optimize the expenses, namely to reduce the expenses for the personnel. In turn it leads to aggravation of contradiction in socially-labour relations in the power companies. The social partnership acts as a form of the solution of these contradictions and it is capable to change and to get to a new level not only the labour relations but also all electric power industry of the country.*

**Реформирование электроэнергетики России** сегодня происходит в напряженных условиях, которые усугубляются экономическим кризисом, большой задолженностью потребителей за электрическую и тепловую энергию, ростом доли физически изношенного и морально устаревшего оборудования.

В условиях финансово-экономического кризиса руководство многих энергокомпаний вынуждено оптимизировать, а попросту сокращать свои затраты, отказываться от инвестиционных программ, ввода новых мощностей. Основными статьями сокращения затрат в период экономического кризиса в организациях как электроэнергетической отрасли, так и в других отраслях экономики, являются затраты на персонал, а именно затраты на обучение, социальные гарантии и, конечно же, оплату труда, что, в свою очередь, может сказаться на трудовых отношениях между работодателем и работниками.

Сокращение затрат на персонал приводит к обострению противоречий в социально-трудовых отношениях в энергокомпаниях.

Введение режима неполного рабочего времени допускается в случае, когда по причинам, связанным с изменением организационных или технологических условий труда (изменения в технике и технологии производства, структурная реорганизация производства, другие причины), определенные сторонами, условия трудового договора не могут быть сохранены, допускается их изменение по инициативе работодателя, за исключением изменения трудовой функции работника<sup>1</sup>. И необходимо заметить, что если работник соглашается работать в режиме неполного рабочего времени, то это повлечет за собой значительное снижение заработка и, как следствие, в случае увольнения работнику средний заработок для выплаты выходного пособия и выплат на период трудоустройства будет определяться исходя из низкой заработной платы.

Сокращение численности или штата сотрудников является одним из главных причин в обострении противоречий в социально-трудовых отношениях в период экономического кризиса. Так, в большинстве энергокомпаний Саратовской области произошло массовое высвобождение работников. В электроэнергетической отрасли в июле 2009 года среднесписочная численность персонала энергосбытовых компаний Саратовской области уменьшилась на 6,6% по сравнению с докризисным периодом (июль 2008 года).

Отмена доплат, бонусов, компенсаций, социальных льгот, снижение процента премий – все это тоже является факторами обострения противоречий между работниками и работодателем. Руководству многих энергокомпаний приходится снижать компенсации командировочных расходов, пересматривать положения о командировках, снижать размер суточных, пересматривать списки сотрудников, которым оплачивалась корпоративная связь и ГСМ при использовании личного автомобиля в служебных целях. Многие энергокомпании не смогли выплатить своим работникам так называемую 13-ю заработную плату по итогам работы за 2008 год.

Снижение процента премирования, отмена доплат, бонусных расходов прямым образом влияют на размер заработной платы работников энергокомпаний. Так, средняя заработная плата работников энергокомпаний Саратовской области снизилась почти на 9% за июль 2009 года по сравнению с заработной платой, выплаченной работникам в соответствующем периоде 2008 года. Задолжен-

<sup>1</sup> Ст. 74 Трудового кодекса РФ.

ность по заработной плате перед работниками электроэнергетической отрасли существует пока только у ОАО «Архангельсксетремонт».

В условиях экономического кризиса руководители энергокомпаний поставлены в такое положение, что приходится экономить буквально на всем. На многих предприятиях электроэнергетической отрасли наблюдается частичное сокращение затрат на обучение персонала. В первую очередь сокращаются те направления финансирования обучения персонала, которые напрямую не связаны с обучением и повышением квалификации персонала, осуществляющего производственную функцию.

В связи с сокращением численности персонала энергокомпаний у оставшихся работников увеличивается объем выполняемых работ, на них возлагают дополнительные трудовые обязанности без соответствующих доплат и повышения заработной платы.

Таковы основные причины, вызывающие *обострение* противоречий в социально-трудовых отношениях в электроэнергетике в период экономического кризиса. В разрешении противоречий и снятии социального напряжения в трудовых отношениях электроэнергетики в период экономического кризиса важную роль играет социальное партнерство.

Социальное партнерство в сфере труда – это система взаимоотношений между работниками (представителями работников), работодателями (представителями работодателей), органами государственной власти, органами местного самоуправления, направленная на обеспечение согласования интересов работников и работодателей по вопросам регулирования трудовых отношений и иных непосредственно связанных с ними отношений<sup>1</sup>.

Работодатель как субъект социального партнерства – согласно международной классификации статуса занятости – это человек, работающий самостоятельно и постоянно нанимающий для работы одного или многих лиц.

Профсоюзы как субъект социального партнерства – это массовые организации, объединяющие наемных работников, связанных общностью социально-экономических интересов.

Государство как субъект социального партнерства должно быть заинтересовано в эффективной самоидентификации наемных работников и работодателей, так как только работник и работодатель могут быть равноправными партнерами, достичь социального согласия, избежать экстремизма – сверхконфликтности в социально-трудовых отношениях<sup>2</sup>.

Роль работодателя в период экономического кризиса главным образом должна заключаться в соблюдении законодательства в сфере труда, ведении социально-ответственного бизнеса. Работодатели в условиях реформирования электроэнергетической отрасли и поджимающими условиями экономического кризиса стремятся сохранить кадровый потенциал работников в надежде на улучшение ситуации различными способами.

Основной ролью профсоюзов в период экономического кризиса является защита интересов работников электроэнергетической отрасли, соблюдение трудового законодательства в отношении работников. В каждой компании или организации электроэнергетики существует первичная профсоюзная организация. В период экономического кризиса в стране, а также в период реформирования электроэнергетической отрасли велика роль работы именно первичных профсоюзных организаций.

В электроэнергетике существует Общественное объединение – «Всероссийский Электропрофсоюз» (ВЭП) – общероссийский профессиональный союз, созданный в форме некоммерческой общественной организации, действующей на территории большинства субъектов Российской Федерации и объединяющий на добровольных началах граждан – членов профсоюза, работающих в организациях, занятых производством, передачей и распределением электрической и тепловой энергии, производством электрических машин и электрооборудования, добычей и агломерацией торфа и иных организаций, связанных с ними деловыми и профессиональными интересами, любых организационно-правовых форм и форм собственности, неработающих пенсионеров этих организаций, а также преподавателей, студентов и учащихся профессиональных учебных заведений, связанных общими социально-трудовыми и профессиональными интересами, для защиты прав и интересов своих членов и представительства в органах государственной власти, местного самоуправления и объединениях работодателей.

Члены Объединения РаЭл и ВЭП входят в комиссию по вопросам регулирования социально-трудовых отношений в электроэнергетике. В соответствии с заключенным Отраслевым тарифным

<sup>1</sup> Ст. 23 Трудового кодекса РФ.

<sup>2</sup> Колосова Р.П. Занятость, рынок труда и социально-трудовые отношения: учебно-метод. пособие / под ред. Р.П. Колосовой, Г.Г. Меликьяна; Моск. гос. ун-т им. Ломоносова. М.: Теис, 1996. С. 48-50.

соглашением в электроэнергетике Российской Федерации на 2009-2011 годы и финансовой возможностью организаций, являющихся членами Объединения РаЭл, работодатели обязаны индексировать заработную плату работников в соответствии с индексом роста потребительских цен в стране.

Государство в разрешении противоречий и снижении напряженности в социально-трудовых отношениях должно играть ведущую роль. На сегодняшний день государство выполняет только функции законодателя и следит за их соблюдением. Основным нормативным актом, регулирующим социально-трудовые отношения, является Трудовой кодекс РФ. Государство в условиях экономического кризиса выступило инициатором по составлению «Рекомендации Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений», в которой в общих чертах прописано, как должны взаимодействовать социальные партнеры в организации в условиях экономического кризиса. Как видно из названия, данный документ носит не обязательный, а всего лишь рекомендательный характер, поэтому стороны социального партнерства вправе и не принимать данный документ к выполнению.

В условиях, когда электроэнергетика переживает переходный период, а еще и экономический кризис ставит в жесткие рамки, только честные и грамотные отношения социальных партнеров способны изменить и вывести электроэнергетику на новый уровень, который изначально был заложен генеральной схемой реформирования электроэнергетической отрасли России.

Таким образом, в условиях кризиса сокращение затрат на персонал приводит к обострению противоречий в социально-трудовых отношениях в энергокомпаниях, а социальное партнерство выступает формой разрешения этих противоречий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Трудовой кодекс РФ.
2. Колосова Р.П. Занятость, рынок труда и социально-трудовые отношения: учебно-метод. пособие / под ред. Р.П. Колосовой, Г.Г. Меликьяна; Моск. гос. ун-т им. Ломоносова. М.: Теис, 1996. С. 623.

**Валгуцкова Ольга Вячеславовна** –  
аспирант кафедры «Экономическая теория и учения»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 338.45.01

**Т.В. Горячева**

### **ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ ГОСУДАРСТВА**

*Рассматриваются вопросы технического регулирования как одного из инструментов промышленной политики государства.*

**T.V. Goryacheva**

### **TECHNICAL REGULATION AS THE TOOL THE INDUSTRIAL POLICY OF THE GOVERNMENT**

*The questions of technical regulation as one of tools of an industrial policy of the state are considered.*

Преодоление создавшегося в российском машиностроении кризиса возможно только при реализации системных подходов, эффективном использовании интеллектуального потенциала общества с мобилизацией всех необходимых и возможных ресурсов государства, всего потенциала развития в соответствии с выработанной промышленной политикой на всех уровнях иерархии. Промышленная политика

должна стать основным механизмом выхода страны из производственного кризиса. Реализация целенаправленной промышленной политики позволит обеспечить поддержку отечественной высокотехнологической продукции, повысить ее конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках.

Для этого участниками разработки и реализации национальной промышленной политики должны выступать не только федеральные власти, но и регионы, бизнес, научные, общественные организации и другие институты гражданского общества.

При отсутствии системного, комплексного подхода к развитию промышленности в целом попытки прямой финансовой поддержки отдельных отраслей промышленности мало что дают в плане преодоления растущего отставания России от развитых стран в сфере наукоемких технологий, приводя лишь к неоправданным расходам бюджетных средств. Промышленная политика должна реализовываться через систему мер государственного регулирования:

- законодательное и нормативно-правовое регулирование (налоговое, тарифное, таможенное, антимонопольное);
- создание благоприятного инвестиционного климата средствами кредитно-денежной и налогово-бюджетной политики;
- развитие дорожной сети, энергетики, связи, других объектов инфраструктуры;
- федеральные целевые программы;
- государственная поддержка экспорта;
- защита внутреннего рынка от недобросовестной конкуренции со стороны зарубежных производителей, использование антидемпинговых процедур;
- использование частно-государственного партнерства в форме особых экономических зон, концессионных соглашений, крупнейших инвестиционных проектов;
- развитие сети лизинговых компаний с государственным участием, в задачу которых входит обеспечение отраслей промышленности и транспорта высокотехнологичным оборудованием;
- подготовка кадров;
- техническое регулирование;
- политика закупок для государственных и муниципальных нужд.

Универсальным инструментом нетарифного регулирования промышленной политики служит техническое регулирование. Проблема технического регулирования сейчас стоит довольно остро в российской экономике и законодательстве. Активное участие бизнеса в работе общественного совета по техрегулированию, в работе экспертных комиссий, рабочих групп при правительственной комиссии позволит преодолеть ряд проблем в этой области. Всем участникам разработки технических регламентов необходимо включаться именно в этот процесс.

Реформа технического регулирования является необходимым условием конкурентоспособности российской экономики. Определяющей составляющей является безопасность продукции – это один из важнейших элементов конкурентоспособности продукции, без наличия которого, продукт вообще не может быть выпущен в обращении на территории Российской Федерации.

Государству необходимо создать условия и стимулы для активизации отечественных производителей для постоянного повышения качества и конкурентоспособности российской продукции.

Создание таких условий невозможно без эффективной системы технического регулирования в Российской Федерации, которая обеспечивает многовариантность выбора технических решений, не создавая при этом необоснованных ограничений и не оказывая на бизнес излишнее административное давление.

В России существовала нормативно-техническая база, содержащая, как подсчитали специалисты, около 170000 документов, в их числе свыше 25000 государственных стандартов, а также отраслевых стандартов, норм и правил, методических материалов, указаний и т.п. [1] Они включали обязательные нормы по качеству исполнения различных видов продукции, в том числе с точки зрения ее безопасности для пользователя и окружающей среды, нормы и правила, обеспечивавшие единство и требуемую точность измерения физических величин и различных характеристик продукции, правила и способы сертификации продукции и др. В среднем каждые 5 лет эти документы обновлялись с учетом прогресса науки, технологий и техники. Замена прежней нормативно-технической базы страны, на не определенное до сих пор количество необходимых технических регламентов, требует громадных финансовых затрат.

Национальные стандарты являются одним из средств защиты интересов отечественных производителей и потребителей продукции и внутреннего рынка. Поэтому они должны регламентировать также требования к совместимости импортной продукции с отечественными техническими объектами, изготовленными по отечественным стандартам. Однако с отменой обязательности ГОСТов и сертификатов качества продукции наш внутренний рынок оказался во многом открытым для некачественных зарубежных товаров. Также в связи с отменой обязательности соблюдения ГОСТов предприятия создают теперь свои, выгодные им нормативно-технические документы, и обязательность их соблюдения указывают в контрактах на поставки своей продукции и оказание услуг.

В настоящее время реформа системы технического регулирования предполагает замену многочисленных ГОСТов, ОСТов, СНИПов, СанПиНов и других ведомственных актов на технические регламенты, устанавливающие обязательные для исполнения требования по обеспечению безопасности, и на национальные стандарты, содержащие добровольные требования. Реформа системы технического регулирования предусматривает замену норм и требований к продукции и процессам ее производства и обращения современной системой контроля качества и безопасности, соответствующими международным стандартам.

Начало кардинальной реформе системы отечественных стандартов, норм, правил и нормативов положил Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», вступивший в силу с 1 июля 2003 г.

С одной стороны, Закон чрезвычайно важен в качестве рамочного документа. С другой стороны, в его рамках сделана первая попытка упорядочить процесс принятия решений в сфере регулирования предпринимательской деятельности, сделать его максимально прозрачным и минимизировать ведомственное нормотворчество, создающее порой препятствия развитию предпринимательства. В идеале реализация реформы технического регулирования должна вести как к снижению административного давления на бизнес, так и к повышению конкурентоспособности российской экономики.

Закон кардинально изменил всю систему технических требований, порядок их разработки и утверждения, порядок осуществления государственного контроля и подтверждения соответствия требованиям обязательных и добровольных норм. Он подчеркнул свою приоритетную значимость в вопросах технического регулирования, является базовым нормативным правовым актом в регулируемой сфере, а все остальные федеральные законы и иные нормативные правовые акты Российской Федерации должны быть приняты в соответствии с его нормами. Кроме того, в нем подчеркивается необходимость приведения в соответствие с Законом положений всех ранее принятых законодательных и иных нормативных правовых актов.

Другой блок положений Закона, не нашедших массового практического применения, связан с развитием систем добровольной сертификации. Это вполне объяснимо, поскольку реальная потребность в развитии подобных систем возникнет только с сокращением обязательных требований и уходом государства из сферы контроля качества продукции. Так что развитие добровольной сертификации объективно тормозится задержкой перехода к системе технических регламентов.

По предварительным данным, российский фонд должен будет насчитывать около 500-2000 технических регламентов (по различным подсчетам данные не совпадают). Но за последние 15 лет работа в этом направлении во многом свернулась, что объективно вызвано распадом производственных цепочек межотраслевой кооперации и прекращением выпуска сложной продукции в наукоемких отраслях (таких как радиоэлектроника, станкостроение и др.). За шесть лет после принятия закона «О техническом регулировании» потрачено свыше 800 млн. рублей на реформу технического регулирования и ничего почти не сделано. Длительность и сложность процедуры разработки, опубликования, проведения экспертизы, обсуждения и принятия технических регламентов (на каждый такой технический регламент уйдет по 1-1,5 года), а также учитывая, что в настоящее время в установленном порядке принято 8 технических регламентов, 5 из которых разработаны в инициативном порядке, то появляется реальное опасение, что с 1 января 2010 г. некоторые старые нормативы утратят силу, а новые не появятся [2].

Анализ действующего законодательства Российской Федерации выявил также отсутствие ответственности юридических и физических лиц за нарушение требований технических регламентов. По мнению Минпромторга России, необходимо внесение соответствующих изменений в Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях, предусматривающих установление ответственности за нарушение требований технических регламентов, а также за нарушение правил обязательного подтверждения соответствия.



В целях повышения эффективности реализации реформы технического регулирования необходимо качественное улучшение взаимодействия на регулярной основе по вопросам технического регулирования с бизнес-сообществами, общественными объединениями и ведущими научными организациями.

Таким образом, определенного ускорения требует процедура развития законодательства о техническом регулировании.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гельман М. Хаос в экономическом законодательстве и его опасные последствия. Как их устранить? / М. Гельман // Промышленные ведомости. 2008. № 7. С. 1-2
2. Гельман М. Распиливание бюджетных средств по Закону «О техническом регулировании» / М. Гельман // Промышленные ведомости. 2008. № 5-6. С. 1-2.

**Горячева Татьяна Владимировна** –

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении» Саратовского государственного технического университета

УДК 338.45

**О.А. Дергачева**

#### **ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

*Рассматриваются вопросы по оценке эколого-экономического механизма системы охраны окружающей среды на предприятии, которые связаны с уменьшением загрязнения окружающей среды и снижением отрицательного воздействия на окружающую среду.*

**O.A. Dergacheva**

#### **ESTIMATE OF ECOLOGICAL AND ECONOMICAL MECHANISM OF A SYSTEM WHICH PROVIDE ENVIRONMENTAL PROTECTION ON ENTERPRISE**

*The questions about estimate of ecological and economical mechanism of a system which provide environmental protection on the enterprise are considered. These questions are connected with decrease of environmental pollution and lowering negative influence on environment.*

Проблема охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов является одной из важнейших.

Экономический механизм охраны окружающей среды должен обеспечить высокий экономический интерес природопользователя в экологии. Один из путей для достижения этой цели – создание прямых экономических стимулов в охране окружающей среды: финансирование, налоговые льготы при внедрении экологически чистых технологий.

Научные разработки по этой глобальной проблеме требуют привлечения огромного числа различных данных, передового отечественного и зарубежного опыта, широкого международного сотрудничества.

Практическое использование результатов научных разработок для решения экологических проблем сдерживается недостаточным развитием теории и практики построения экологических информационных систем.

Сформировавшаяся специфика задач, решаемых региональными комитетами охраны природы, вынуждает предприятия к систематической интерпретации лавинообразно нарастающей информации. Локальное использование мощных средств вычислительной техники для оптимизации отдельных процессов не приносит эффекта и требуется взаимосвязанная и взаимозависимая информационная система, осуществляющая поддержку деятельности подразделений комитетов на всех уровнях и по всем проблемным вопросам.

Каждое предприятие разрабатывает экологический паспорт. Назначение Экологического (природоохранного) паспорта – создание информационной базы данных рационального природопользования, формирование первичных экологических данных предприятий, получение информации для определения экономичности используемых технологий с целью дальнейшей сертификации, обязательного экологического страхования и т.д.

Предприятие в экологическом паспорте предоставляет данные по всем видам природопользования, в том числе: сведения об оснащенности, техническом состоянии очистного оборудования предприятия; данных по выбросам, сбросам и размещению отходов, о наличии разрешений о природопользовании; по автоматизированному составлению отчетов предприятий по охране природы; по обмену информацией по вопросам природопользования на машинных носителях; внедрению компьютерных программ на предприятиях для обобщения данных по автоматизации работ службы охраны природы.

Экологический паспорт является базой данных по воде, воздуху, почве, отходам, обязателен для всех природопользователей. Необходимо использовать принципы объектно-ориентированного программирования, которые позволят обновлять данные о природопользователях, периодически их обновлять, выявлять недостатки, вводить экономические методы управления, связывать кадастры природных ресурсов с влиянием технологии переработки конкретного материала у природопользователя, создавать банк данных по природоохранным и ресурсосберегающим технологиям.

Существует необходимость создания справочной информационной системы данных, которая будет осуществлять доведение до потребителя справочно-информационных материалов.

Эколого-экономический механизм системы охраны окружающей среды на предприятии предполагает внедрение требований международного стандарта по охране окружающей среды ISO 14001, которые связаны с уменьшением загрязнения окружающей среды и снижением отрицательного воздействия на окружающую среду. Предприятие для внедрения этих требований должно составить ряд аспектов, связанных с ООС, которые в зависимости от характера выполняемых работ могут пересматриваться и дополняться.

Деятельность предприятия в сфере охраны окружающей среды подразумевает формирование основных обязательств, связанных со стремлением уменьшить воздействие на окружающую среду и рационально использовать природные ресурсы. Предприятие обязано создавать, внедрять и обновлять систему управления ООС, соответствующую требованиям международного стандарта.

Эколого-экономический механизм системы ООС должен постоянно улучшаться и выполнять мероприятия по предотвращению загрязнения окружающей среды. Для этого предприятие должно выделять необходимое количество человеческих и технических ресурсов.

Положительным и значимым фактором в области системы ООС будет являться сотрудничество предприятий между собой, представление другим предприятиям и организациям достоверной и своевременной информации о действенности системы управления ООС. Не следует забывать и учитывать правовые и нормативные требования, регламентирующие охрану окружающей среды.

Для совершенствования эколого-экономического механизма системы ООС на каждом предприятии необходимо производить:

а) оценку существующей системы производственного экологического менеджмента на предприятии, включающую анализ существующей системы управления ООС, воздействие предприятия на окружающую среду, соответствие природоохранной деятельности предприятия законодательным и нормативным требованиям; подготовку персонала, участие персонала в реализации политики предприятия;

б) оценку основных систем регулирования воздействия на окружающую среду, включающую идентификацию экологических аспектов продукции предприятия, сырья и материалов.

Предприятие, согласно своему производству, устанавливает вероятное воздействие на окружающую среду и здоровье персонала, рекомендует способы регулирования воздействия и определяет регламентные требования по снижению воздействия и способам его регулирования.

Необходимость адекватных мер для повышения экологической безопасности и охраны окружающей среды подразумевает использование процедуры экологической сертификации, позволяющей любому предприятию создать эколого-экономическую систему ООС, способную стать базой для природоохранной деятельности и проведения экологического аудита.

Внедрение эффективного эколого-экономического механизма системы ООС позволяет: улучшить имидж производства; сознательно использовать сырьё, электроэнергию, правильно работать с отходами; уменьшить риск в управлении процессами, благодаря мероприятиям, предупреждающим или уменьшающим степень опасности при аварийных ситуациях; создать правильную структуру, правильное распределение обязанностей и ответственности; своевременно информировать всех работников о возможных последствиях работы с опасными веществами.

Система экологического мониторинга содержит сведения по числу источников выбросов, данные по основным и приоритетным загрязняющим веществам. Для организации экологического мониторинга требуется обеспечить достоверность экологических данных. Адекватная информация позволяет обосновывать принимаемые решения, оценивать их последствия и вырабатывать предложения по корректировке управляющих мер.

Правильный эколого-экономический механизм системы ООС на предприятии позволяет избежать или сократить первоначальное образование загрязняющих веществ и других негативных факторов воздействия на окружающую среду.

Механизм управления системой ООС устанавливает нормативы платы и размеры платежей за использование природных ресурсов, выбросы и сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, размещение отходов и другие виды вредного воздействия.

Предприятие для уменьшения экологических платежей снижает количество выбросов (сбросов, размещаемых отходов), то есть внедряет природоохранные мероприятия.

Увеличивая расходы на мероприятия по снижению вредного воздействия производства на окружающую среду, предприятие снижает валовый выброс вредных веществ в атмосферу при непрерывном увеличении производства. Это достигается путем реконструкции и модернизации производства, ремонта, оснащения источников загрязняющих веществ (ЗВ) очистными установками, технологическими мероприятиями, разработки и реализации целевых экологических программ.

Внедрение эколого-экономического механизма системы ООС на предприятии обеспечивает возможность отслеживания информации, необходимой для современного технического обслуживания оборудования.

Следует обратить внимание руководителей предприятий на профессиональных внешних консультантов, владеющих межотраслевой и наработанной информацией, позволяющей достаточно объективно рассмотреть проблемы предприятия со стороны и совместно выработать стратегию по управлению системой охраны окружающей среды.

Оценка и анализ эколого-экономического механизма системы ООС на предприятии позволяют выявить ряд недостатков.

Стратегия, программа и методы управления производством должны разрабатываться на предприятии таким образом, чтобы сократить первоначальное образование загрязняющих веществ и других негативных факторов воздействия на окружающую среду.

Применение специализированного программного обеспечения (СПО) позволит автоматизировать трудоёмкий процесс выработки мер и формирования плана мероприятий по снижению вредного воздействия, и осуществлять моделирование различных вариантов развития событий на планируемом производстве.

Интеграция вопросов охраны окружающей среды в систему административного управления организации будет способствовать более эффективной работе эколого-экономического механизма системы ООС и улучшению экономических показателей.

**Дергачева Ольга Александровна** –  
кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Е.В. Еремина**

## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Проведен анализ возможностей финансирования кредитными организациями инновационной деятельности машиностроительных предприятий и всех предприятий добывающей и обрабатывающей отраслей.*

**E.V. Eremina**

## **SOME ASPECTS OF FINANCING OF INNOVATIVE ACTIVITY OF THE MACHINE-BUILDING ENTERPRISES**

*Article is devoted the analysis of possibilities of financing by the credit organisations of innovative activity of the machine-building enterprises and all enterprises of extracting and processing branches.*

Необходимость перехода на инновационный путь развития является на сегодняшний день общепризнанным приоритетом российской экономики. Однако несмотря на многочисленные исследования ученых, посвященные проблемам инновационной сферы, утверждение инновационного развития ориентиром национальной политики, законодательные инициативы на государственном и региональном уровнях, а также практические усилия различных субъектов, существенного влияния инновационных факторов на экономический рост не наблюдается. Особенно непростая ситуация в области инновационной деятельности складывается на предприятиях машиностроения.

Целью данного исследования является анализ возможностей активизации инновационной деятельности машиностроительных предприятий путем привлечения к ее финансированию экономических субъектов, обладающих значительными финансовыми ресурсами, – кредитных организаций. Для достижения цели исследования решаются следующие задачи: определяются потребности машиностроительных предприятий и предприятий добывающей и обрабатывающей отраслей в финансировании инновационной деятельности, анализируются средства, размещаемые отечественными кредитными организациями, после чего исследуются достаточность банковских средств и причины, сдерживающие финансирование инновационной деятельности машиностроительных предприятий коммерческими банками.

В настоящее время инновационная деятельность в отечественной промышленности вообще и в машиностроении, в частности, характеризуется невысоким уровнем развития. Анализ удельного веса организаций, осуществляющих технологические инновации, в общем числе организаций промышленного производства разных стран (таблица) позволяет сделать вывод о крайне низкой доле организаций, осуществляющих инновации в России, по сравнению с экономически развитыми странами, причем эта доля ниже аналогичных показателей развитых стран в 4-8 раз. Что касается отечественного машиностроения, доля инновационно активных предприятий здесь несколько выше, чем в среднем по России, однако остается намного ниже не только аналогичных показателей иностранных государств, но и доли некоторых отраслей отечественной экономики.

В результате объем отгруженной инновационной продукции в производстве машин и оборудования упал с 6,9% в 2004 г. до 5,0% в 2006 г., что превысило темпы падения соответствующего показателя в целом по добывающим и обрабатывающим производствам.

Одной из основных проблем, сдерживающих построение инновационной экономики в нашей стране, является недостаток финансирования инновационной деятельности. Так, в производстве машин и оборудования удельный вес затрат на технологические инновации в общем объеме отгруженной продукции снизился с 2,3% в 2004 г. до 1,8% в 2006 г. и составил 8 122,7 млн. руб. [9].

Основными источниками финансирования инновационной деятельности машиностроительных предприятий могут быть государственный бюджет и внебюджетные фонды, собственные средства предприятий, внедряющих инновационные проекты, иностранные инвесторы, отечественные

коммерческие и некоммерческие организации, а также кредитные организации. Рассмотрим возможности участия в инвестировании инноваций российских коммерческих банков, в силу своей природы наделенных обширными источниками финансовых ресурсов.

Удельный вес организаций, осуществляющих технологические инновации, в общем числе организаций (на основе данных [9, 10])

Страна	Удельный вес организаций, %
Россия	9,4
В том числе производство машин и оборудования	15,0
производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования	27,0
производство транспортных средств и оборудования	22,7
химическое производство	24,2
Австрия	57,5
Германия	72,8
Норвегия	43,4
Великобритания	44,4
Франция	36,1
Швеция	54,3

Анализ данных показывает, что общие объемы размещенных кредитными организациями средств росли на протяжении всего периода с 2004 по 2009 гг., хотя темпы роста несколько замедлились к концу исследуемого периода. Безусловно, положительной тенденцией является устойчивый рост кредитов, депозитов и прочих размещенных средств, а кроме того, их опережающий рост в период с 2004 г.

Учитывая, что отечественные кредитные организации по состоянию на 01.01.2007 имели 1 165 млрд. руб., размещенных на срок свыше 3 лет, а по состоянию на 01.01.2006 – 364 млрд. руб., выданных в 2006 году 801 млрд. руб., казалось бы, достаточно для финансирования технологических инноваций в машиностроении (8,1 млрд. руб.). При этом существует и гипотетическая возможность увеличения аналогичных расходов в 2-3 раза: 17-25 млрд. руб. из 801 млрд. руб. выданных средств – вполне адекватная доля инновационного инвестирования коммерческими банками. Однако вопрос как раз и заключается в том, на сколько должно быть увеличено финансирование инновационной деятельности коммерческими банками, чтобы обеспечить переход страны на инновационный путь развития.

Отношение затрат на исследования и разработки к валовому внутреннему продукту составляет 1,07% в РФ против 2,8-4,3% в развитых странах (США, Япония, Швеция) [10]. Средний процент, рассчитанный по 11 развитым странам, составляет 2,55% от валового внутреннего продукта. Таким образом, для выхода на уровень передовых стран нам необходимо увеличить затраты на инновации как минимум в 2,4 раза. Увеличенные в 2,4 раза затраты на технологические инновации в машиностроении составили бы 19,44 млрд. руб. в 2006 г. При сохранении тренда (пропорциональном увеличении затрат на технологические инновации в машиностроении при росте валового внутреннего продукта) получаем 23,86 млрд. руб. затрат в 2007 г., 30,13 млрд. руб. – в 2008 г. Аналогичные показатели, рассчитанные по всем добывающим и обрабатывающим производствам на основании данных [9], составят 452,4 млрд. руб. для 2006 г., 555,18 млрд. руб. для 2007 г., 701,28 млрд. руб. – для 2008 г.

Таким образом, принципиальная возможность предоставления банками денежных средств на длительный период, необходимый для финансирования инновационной деятельности как машиностроительных предприятий, так и всех добывающих и обрабатывающих предприятий, имеется. Однако возникает вопрос о допустимом для банков уровне рискованности вложений. Как известно из теории и практики инноваций, инновационные проекты отличаются максимальным уровнем риска, длительным сроком реализации и потребностью в невысокой плате за пользование денежными средствами кредиторов. Банки как коммерческие организации стремятся обеспечивать сбалансированный по уровню риска кредитный портфель, придерживаясь определенного соотношения низкорисковых и высокорисковых вложений, не допуская, как правило, вложения в высокорисковые проекты большей части размещенных средств. В таких условиях банки либо будут отказывать предприятиям в кредитовании инновационных проектов, либо требовать уплаты повышенной процентной ставки, что будет вызывать отказы самих предприятий от такого финансирования.

Следовательно, необходима система государственного стимулирования банковского финансирования инновационной деятельности, включающая методы прямого и косвенного стимулирования. В качестве прямых методов могут использоваться схемы совместного финансирования инновационных проектов государством и коммерческими банками, государственные гарантии по инновационным проектам, кредитуемым банками, предоставление кредитным организациям налоговых льгот, амортизационных льгот, льгот по перечислению денежных средств в фонд обязательного резервирования.

Методы косвенного стимулирования включают создание общей атмосферы, благоприятствующей инвестиционным и инновационным процессам, законодательное и нормативное регулирование банковского финансирования инновационной деятельности, совершенствование инфраструктуры инвестирования инноваций, содействие в области подготовки кадров, другие мероприятия.

При этом максимального эффекта можно достичь путем применения названных мер в комплексе, сочетая методы прямого и косвенного регулирования. Только целостная система инновационной политики и ее последовательное внедрение могут обеспечить построение в нашей стране инновационной экономики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Атоян В.Р. Инвестирование в инновационную экономику / В.Р. Атоян, Е.В. Еремина, Е.Г. Яблонская. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2005. 152 с.
2. Бюллетень банковской статистики. 2005. № 1 (140).
3. Бюллетень банковской статистики. 2006. № 1 (152).
4. Бюллетень банковской статистики. 2007. № 1 (164).
5. Бюллетень банковской статистики. 2008. № 1 (176).
6. Бюллетень банковской статистики. 2009. № 1 (188).
7. Дворецкая А.Е. Долгосрочное банковское кредитование как фактор эффективного финансирования экономического роста / А.Е. Дворецкая // Деньги и кредит. 2008. № 11. С. 23-30.
8. Красавина Л.Н. Инновационная стратегия развития российской экономики: финансовые, банковские и валютные аспекты / Л.Н. Красавина, Н.И. Валенцева // Финансы и кредит. 2007. № 23. С. 2-13.
9. Россия в цифрах. 2008: Краткий стат. сб. / Росстат. М., 2008. 510 с.
10. Россия и страны мира. 2008: стат. сб. / Росстат. М., 2008. 361 с.
11. Татаркин А.И. Построение инновационной экономики в РФ: проблемы и перспективы / А.И. Татаркин, А.Ф. Суховой // Инновации. 2007. № 7. С. 11-18.

**Еремина Елена Валериевна** –

кандидат экономических наук,

доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении»

Саратовского государственного технического университета

УДК 330.322

**Г.И. Жиц, Е.С. Захарченко**

#### **О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

*Рост экономики страны в значительной степени определяется инновационным развитием промышленного производства. В условиях рыночных отношений имеется ряд проблем и особенностей достижения эффективности инновационной деятельности машиностроительных предприятий.*

G.I. Zhits, E.S. Zakharchenko

**SOME ASPECTS OF INNOVATION PROGRESS MACHINE-BUILDING INDUSTRY**

*The growth of the country's economy is largely determined by the innovative development of industrial production. In conditions of market relations has a number of issues and in particular for achieving the efficiency of innovation engineering enterprises.*

В условиях постоянно происходящих качественных изменений, связанных с глобализацией экономики, обострением конкуренции на микро-, мезо- и макроуровнях, развитие любого государства связано с обеспечением конкурентоспособности отраслей и сфер деятельности.

Регионы России различаются по множеству факторов: от природно-климатических и социально-демографических до макроэкономических. В связи с различием в факторах производства в качестве инфраструктуры и трудовых ресурсов в разных регионах и отраслях в России сосуществуют и индустриальная, и инновационная экономики. Именно поэтому развитию инновационной экономики на современном этапе придается особое значение. Данная модель характеризуется применением информационных технологий, высокими производственными технологиями, созданием инновационных технологий и инновационных систем, инновационной организацией различных сфер человеческой деятельности. В контексте этих представлений для развития региона в современных условиях нужны новые подходы и технологии управления региональным развитием, основанные на знаниях, последних достижениях экономики и мировом опыте. Это предопределяет необходимость разработки и обоснования конкурентных стратегий развития, исходя из имеющихся в каждом регионе конкурентных преимуществ, отражающих специфику регионального потенциала.

Отечественная экономика сегодня характеризуется существенным спадом производства и острыми диспропорциями развития. Тяжелая ситуация в народном хозяйстве страны усугубляется кризисным положением одной из важнейших его отраслей – машиностроения. Машиностроительный комплекс является основным фондосоздающим звеном экономики и от его функционирования напрямую зависит состояние производственного аппарата страны, его качественный уровень. Это обусловлено двумя причинами.

Во-первых, машиностроительный комплекс – крупнейший из промышленных комплексов. Машиностроение и металлообработка характеризуются более крупными размерами предприятий, чем промышленность в целом, большей фондоемкостью, капиталоемкостью и трудоёмкостью продукции; конструктивно-технологическая сложность продукции машиностроения требует разнообразной по профессиям и квалифицированной рабочей силы.

Во-вторых, машиностроение создает машины и оборудование, применяемые повсеместно: в промышленности, сельском хозяйстве, в быту, на транспорте.

Следовательно, научно-технический прогресс во всех отраслях народного хозяйства материализуется через продукцию машиностроения, в особенности таких ее приоритетных отраслей как станкостроение, электротехническая и электронная промышленность, приборостроение, производство электронно-вычислительной техники. Машиностроение, таким образом, представляет собой проводник научно-технического прогресса, на основе которого осуществляется техническое перевооружение всех отраслей производства.

Структура машиностроительного производства в развитых странах (США, Германия, Япония, Англия) представлена практически полным набором отраслей с преобладанием доли электротехники. Машиностроительная продукция благодаря высокому качеству и конкурентоспособности обладает большим потенциалом к экспорту и большим удельным весом в общем объеме экспорта (Япония – 64%, США – 70%, Германия – 48%, Канада – 42%, Швеция – 44%). В России на долю продукции машиностроительного комплекса приходится 20% общего объема экспорта страны [1].

Из-за этого технологическое отставание от передовых стран только усиливается. Мировому уровню соответствует лишь четвертая часть наших технологий, остальное – как правило, технологии 60-70-х годов прошлого века. Состав оборудования по своей структуре соответствует техническому уровню середины 1980-х годов, а доля обрабатывающих центров с ЧПУ в парке эксплуатируемого оборудования не превышает 5%. За рубежом количество используемого высокотехнологичного оборудования с ЧПУ приближается к 50%, а на предприятиях, выпускающих технологическую оснастку (пресс-формы, штампы, литейные формы и т.д.), – 85%.

Одним из главных условий модернизации современной экономики, перехода к новой, постиндустриальной стадии социального прогресса является инновационная деятельность. Для выведения отечественного машиностроения на надлежащий уровень необходимы изменения материально-технические, экономические, управленческие. Их практическое осуществление связано с внедрением инноваций на отечественных предприятиях.

Основа современного постиндустриального мира – наукоемкие технические системы нового поколения с системами управления, высокоэффективные, гибко перестраиваемые, многокоординатные машины и роботы. Именно сюда, в так называемые базовые технологии, в первую очередь необходимо направить инновации – новые материалы, компоненты на базе технологий микроэлектроники, радио- и оптоэлектроника, лазерные технологии, компьютерная техника, информационные технологии. Указанные производства, бурное развитие которых ожидается в XXI веке, проектируются и создаются передовыми машиностроительными фирмами в развитых странах мира [2].

Инновации могут носить и экономический, и коммерческий, и организационно-управленческий характер. И. Шумпетер называет пять основных типов инноваций, порождающих прибыль: производство нового товара или товара, отличающегося повышенным качеством по сравнению с ныне продаваемыми изделиями; освоение нового рынка; внедрение нового метода производства; освоение нового источника сырья и материалов; организационно-управленческие новшества.

Инновация, по Шумпетеру, не просто нововведение, это новая функция производства, скачок от старой производственной функции к новой.

Вообще появление радикальных инноваций – явление очень редкое, тем более на российском рынке. В настоящее время деятельность российских промышленных предприятий преимущественно ориентирована на внедрение продуктов и технологий заимствования. Причин, предопределивших развитие такой ситуации, много: недостаточное финансирование фундаментальной и прикладной науки, отсутствие необходимых средств на научно-техническое развитие у самих предприятий, тяжелой финансовый кризис большинства хозяйствующих субъектов и т.п. Заводам сегодня, а скорее всего и в ближайшем будущем, по соображениям «затраты – отдача – риск» гораздо легче и проще будет купить отработанную технологию (лицензионный продукт) и спокойно работать на внутренний рынок или встроиться в цепочку поставок международного концерна, вместо того чтобы самим развивать инновационную идею и выводить ее на международный рынок.

Отечественное машиностроение больше всего пострадало от разрыва кооперативных связей, неплатежей, опережающего роста цен на электроэнергию и комплектующие. Поэтому сейчас, как никогда, в стране назрела необходимость в разработке концепции его преобразования и инновационной программы с учетом научно обоснованного и реалистического определения стратегических целей и приоритетов. К таким целям можно отнести «...преодоление в исторически короткий срок ... сложившегося отставания отечественного машиностроения от промышленно развитых стран; переориентацию структуры машиностроительного производства в направлении создания системы машин для перевооружения всех отраслей отечественной экономики на новейшей основе; полное обеспечение производства оборонной техники в соответствии с целями принятой военной доктрины; формирование устойчивого экспортного потенциала отечественного машиностроения и др.» [3].

Для реализации намеченных стратегических целей приоритетного развития машиностроения необходимо на основе функциональной экономической системы формировать конкурентно-экономическую среду, применяя рыночный финансово-экономический механизм в инновационной деятельности предприятий. Государство должно одновременно поддерживать как производство машиностроения, так и потребителей его продукции (для расширения рынка сбыта). Выживание предприятий требует производства продукции различного ассортимента, развития рыночных форм хозяйствования, создания финансово-промышленных групп, придания приоритета экспортной продукции; необходим переход к качественно иным формам управления инновационной деятельностью, адекватным современному уровню развития производительных сил в условиях рынка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. [http://www.saprlab.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=554&Itemid=46](http://www.saprlab.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=554&Itemid=46)
2. Постановление Кабинета Министров Чувашской Республики от 21 сентября 2006 г. № 237 «О Республиканской целевой программе развития машиностроительного комплекса Чувашской Республики на 2006-2010 годы».



3. Печенежская И.А. Инновационная деятельность предприятия – тактика рыночных прорывов в новое / И.А. Печенежская // Успехи современного естествознания. 2003. № 7. С. 73.

**Жиц Григорий Иосифович** –

доктор экономических наук,  
профессор кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Захарченко Екатерина Сергеевна** –

аспирантка кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 331.101

**Е.Ю. Игнатьева**

### **КАДРОВАЯ ПОЛИТИКА В БАНКОВСКОЙ СФЕРЕ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА**

*Рассматриваются вопросы кадровой политики в банковской сфере. Проанализирована динамика развития современного банковского сектора. Предложены меры по совершенствованию кадровой политики в условиях кризиса.*

**E.U. Ignatyeva**

### **LABOR MANAGEMENT IN BANKS IN CRISIS**

*The article examines questions about labor management in banks. Author analyzes dynamics of bank's development, offers the number measures of labor management in crisis.*

Динамика развития банковского сектора в 2007-2008 годах была так высока, что новые направления, проекты возникали очень быстро и так же быстро реализовывались. Соответственно для их внедрения набирался персонал, причем поскольку требовалось много людей, и активно развивались все банки – ощущался значительный кадровый голод. Очень активно привлекались новые сотрудники, банки участвовали в ярмарках вакансий, отбирали перспективных студентов и т.д. Для того, чтобы сохранить высокий уровень квалификации сотрудников проводилась подготовка и переподготовка специалистов, повышение их квалификации, расширение операционных навыков и многое другое.

Очевидно, что изменение общей ситуации в банковской сфере повлияло и на кадровую политику банков. В первую очередь были приостановлены ресурсоемкие проекты, направленные на долгосрочную перспективу. В связи с этим в настоящее время акцент в кадровой политике делается на дополнительное обучение сотрудников новым продуктам, улучшение качества обслуживания клиентов. Разработаны программы по переобучению специалистов непосредственно в банке.

Кризисные явления, переживаемые сегодня российской экономикой в целом и финансовой системой, в частности, безусловно, негативно отразились на финансово-хозяйственной деятельности всех российских коммерческих банков.

Теории, рассматривающие кризис как явление, ориентированное на ломку старого и развитие нового, воспринимают его позитивно. Поэтому в основу заложена не борьба с кризисом, а реструктуризация системы, соответствующая новым отношениям.

Решению именно этой задачи подчинена система мер, именуемая **антикризисным управлением**.

Кадровая антикризисная политика – составляющая стратегии вывода организации из кризиса. Она определяет характер взаимоотношений руководства с его персоналом. Цель кадровой антикризисной политики – сохранить кадровый потенциал для обеспечения функционирования организации в период кризиса и вывода его из кризиса.

Эффективная кадровая политика заключается в следующем: сокращение всех уровней управления в организационной структуре, а не отдельных рабочих мест; укрепление кадрового резерва в высшем звене управления; учет взаимозависимости элементов организационной структуры при проведении сокращений, а также стимулирование новой организационной структуры; выявление, поддержка и продвижение по службе работников, проявляющих лидерские качества и стремящихся к управлению; проведение политики подготовки и переподготовки персонала в кризисных условиях; децентрализация системы управления, передача необходимых полномочий менеджерам всех уровней; централизация финансового менеджмента, что должно обеспечить накопление необходимого капитала для инноваций и инвестиций; сохранение кадрового ядра; набор перспективных работников со стороны.

Проведение политики формирования уникального кадрового потенциала путем подбора способных специалистов позволяет организации подготовить нестандартные предкризисные мероприятия и в условиях всеобщего кризиса получить преимущества перед конкурентами. Интеллектуальное лидерство организации в этих условиях в еще большей степени привлекает талантливых людей, что позволяет создавать высококонкурентоспособную продукцию.

Главные задачи антикризисного управления – сохранение работоспособных кадров, недопущение паники среди работников.

Одним из обязательных условий эффективной работы антикризисной команды является ее профессиональный уровень. Менеджеры должны легко адаптироваться к изменениям во внешней среде и внутри организации, без боязни брать на себя дополнительные функции, права и полномочия, уметь мобилизовать сотрудников на выполнение несвойственных им прежде задач, вести разъяснительную работу.

Важной задачей антикризисной кадровой политики является вынужденное сокращение численности работников. Зачастую оно не поддается регулированию со стороны менеджмента банка, поэтому уже в предкризисный период высшее руководство должно оценить тенденции кадровой динамики, спрогнозировать развитие событий и разработать профилактические мероприятия.

В случае если шансов на улучшение ситуации в ближайшей перспективе не предвидится и массовое высвобождение работников становится неизбежным. Необходимо очень тщательно разработать процедуры такого высвобождения и провести их корректно как с правовой точки зрения, так и с точки зрения социально-экономической эффективности для организации.

Российским трудовым законодательством высвобождение работников по инициативе работодателя достаточно четко регламентировано. Оно допускается при ликвидации либо организации, сокращении численности или штата сотрудников.

Мероприятия по высвобождению персонала довольно дороги, поскольку законодательством предусмотрены компенсации и другие льготы высвобождаемым работникам.

Мероприятия по высвобождению персонала могут быть эффективными с экономической точки зрения только в том случае, если персонал сокращается на тех местах, где ощущается его избыток.

Увольнение работников необходимо проводить в «сходящем» режиме, давая им возможность для поиска новой работы, выплачивая повышенную по сравнению с требованиями закона компенсацию, организовывая занятия по профориентации высвобождаемых сотрудников, помогая им в трудоустройстве.

Подобные мероприятия не только позволяют организации сохранить хорошие отношения с его бывшими сотрудниками, но и чрезвычайно благоприятно сказываются на внешнем имидже фирмы, на повышении лояльности к организации оставшегося персонала, его мобилизационных возможностей для решения задач выхода из кризиса.

Сокращение должностных окладов и премий на основе опыта должно происходить по следующим правилам:

1. Сокращение должностных окладов и премий следует начинать с руководителя.
2. Сокращение должностных окладов всего персонала сделать пропорциональным (например, сократить должностные оклады всем категориям работников на 25 %).

Кризис всегда сопровождается повышенной напряженностью в коллективе, возникающей в ответ на разнообразные экстремальные воздействия. Несмотря на то, что поведение человека в сложных условиях зависит от свойств характера, доказано, что даже при высокой стрессоустойчивости его действия будут отличаться от традиционных. Личность становится более восприимчивой к факторам внешней и внутренней среды, взаимоотношениям в коллективе. Конфликты, которые в естественных условиях разрешились бы быстро и легко, как правило, перетекают в устойчивые и затяжные.

Будучи одним из направлений антикризисной политики, управление конфликтами основывается на понимании менеджерами глубинных предпосылок возникновения спорных ситуаций, механизма их развития и методов разрешения.

Управление конфликтами предполагает по меньшей мере две стратегии. Первая – предупреждение спорных ситуаций (улучшение условий труда, создание рациональной информационной системы и структуры управления организацией, разработка обоснованных систем вознаграждения за результативный труд, обеспечение строгого соблюдения дисциплины, традиций и др.). Вторая – нацелена на прекращение противоборства сторон и поиск приемлемого решения проблем. Устранение конфликтов способствует улучшению психологического климата в коллективе, что является необходимым для успешной реализации антикризисных мероприятий.

Для эффективного управления человеческими ресурсами и оптимального использования возможностей внешней среды руководство предприятия нуждается в доверительных отношениях с подчиненными, что служит основой взаимопонимания и согласия, детерминирует мотивацию к повышению результатов труда и является неотъемлемым условием командной работы.

В ситуации кризиса важно продемонстрировать сотрудникам, что менеджмент готов разделить с ними существующие трудности. Необходимо акцентировать внимание рядовых сотрудников на том, что непопулярные меры, предпринимаемые в компании, распространяются и на руководителей всех уровней. Возможно, имеет смысл проводить общее собрание, где рассказывается, почему было принято такое решение и как в дальнейшем будет развиваться ситуация. Интенсивное общение не только в офисе, но и за его пределами создает доверительную атмосферу и способствует сплочению коллектива.

Особую актуальность это приобретает в период кризиса, поскольку атмосфера взаимодоверия способствует оптимальному использованию потенциала компании. Доверие во многом определяет итог организационных изменений.

Успешное управление в условиях кризиса невозможно без эффективной системы мотивации сотрудников.

Практика подтверждает, что мотивированные сотрудники охотно отдают компании время и навыки, идентифицируют себя со своим работодателем, с гордостью рассказывают о нем, в то время как немотивированные относятся к выполняемой работе поверхностно, а о работодателе отзываются пренебрежительно.

Считается, что важнейшим фактором, влияющим на мотивацию персонала, является материальное стимулирование. На наш взгляд, это не совсем верно. Многие сотрудники сохраняют высокий уровень лояльности к компании и при не очень высоком уровне доходов, другие же готовы покинуть ее, получая за свою работу значительное материальное вознаграждение.

Кризисное состояние отдельных организаций в условиях рынка естественно: не все оказываются способными выдержать конкуренцию.

Кризис – это не обязательно плохая новость, это просто констатация факта. И если относиться к этому факту как к любому другому, если понимать, что в это сложное и непредсказуемое время, в которое мы живем и работаем, все возможно, в том числе и кризис, который может означать крах для бизнеса, но при соответствующем планировании кризис может обернуться благом для организации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Парамонов А. Подбор работников: возможно ли снизить риски / А. Парамонов // Человек и труд. 2007. № 1. С. 72-83.

**Игнатьева Елена Юрьевна** – аспирант кафедры «Экономические теории и учения» Саратовского государственного технического университета

**К.М. Кесян**

**РАЗВИТИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К УПРАВЛЕНИЮ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Систематизированы различные позиции научных исследователей к развитию системного подхода в управлении научно-производственными комплексами в сфере промышленности.*

**K.M. Kesyan**

**THE DEVELOPMENT OF SYSTEMS APPROACH TO CONTROL OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL COMPLEX IN THE INDUSTRY**

*In the article are systematized different positions of scientific researchers to the development of systems approach in control of scientific and industrial complexes in the sphere of industry.*

Системный подход представляет собой методологическое направление в науке, основной задачей которого является разработка методов познания и изучения сущности исследуемых или проектируемых объектов (артефактов) (от лат. arte – искусственный, factus – сделанный). Особенно широкое применение системный подход находит при моделировании сложных развивающихся объектов – разноуровневых, иерархических, как правило, самоорганизующихся систем [10]. Система в контексте научной терминологии используется учеными тогда, когда исследуемый или проектируемый объект определяется как нечто единое (целостное), сложное, и поэтому трудно сразу дать полное представление, показать его, изобразить графически или описать математическим выражением [9].

Внимание, таким образом, стало концентрироваться не только на функционировании той или иной системы, но и на принципах образования целесообразного единства (не случайно А.А. Богданов назвал свою науку тектологией (от греч. tecton – строить), близкой к диалектике Гегеля, который пытался установить универсальный метод развития системы (развитие как путь организации всевозможных систем) [3].

М.Б. Алексеева отмечает, что современная оценка качества любой системы включает целый комплекс характеристик, связанных с расширением интеграционных процессов социально-экономического развития. Такая интеграция усиливает вероятность возникновения проблемных ситуаций, имеющих системный характер. Это связано с тем, что результаты принимаемых экономических решений, часто не согласованные с состоянием других систем, все чаще вызывают дестабилизирующий эффект как самой социально-экономической среды, так и мирового экономического сообщества в целом. Поэтому изучение фундаментальных основ теории систем, системного анализа и особенно синтеза становится объективной необходимостью экономического образования с учетом синергетических свойств сложных открытых систем [1]. Учитывая несомненную продуктивность высказанного мнения, попытаемся интерпретировать его с позиций заявленного предмета анализа. Научно-производственный комплекс представляет собой сложную открытую автономную систему, осуществляющую обмен через свои границы с внешней средой материальными (сырье и материалы, а также энергия на входе и готовая продукция и отходы производства на выходе), человеческими, финансовыми и информационными потоками и входящую в вышестоящую систему промышленной отрасли. В целях интеграции знаний (СИЗ) в научно-производственном комплексе необходимо решение следующих задач: разработать единую систему понятий для обеспечения взаимоотношений между людьми, предметами и средствами труда; приобрести, накопить и использовать знания, относящиеся к прошлому (генезис, прецеденты, моделирование), настоящему (мониторинг) и будущему (планирование, прогнозирование, проблематика); обеспечить каждому сотруднику доступ к накопленным знаниям; создать условия для эффективной командной работы в решении управленческих задач.

По мнению ученых К.А. Кравченко и В.П. Мешалкина, необходимость использования системного подхода в управлении научно-производственным комплексом обусловливается укрупнением и усложнением изучаемых систем, потребностями в управлении ими, что дает возможность упорядочить управленческие проблемы, структурировать их, определить цели решения, выбрать варианты, а также установить взаимозависимости существенных проблем, установить предпосылки и факторы, определяющие принятие управленческих решений [5].

В контексте исследования по программе «Реформирования и развития оборонно-промышленного комплекса на 2002-2006 гг.» Правительством России была сформулирована задача создания системообразующих интегрированных структур; оптимизации состава и структуры оборонно-промышленного комплекса путем концентрации военного производства на ограниченном числе системообразующих научно-производственных комплексов, контролируемых государством [7]. Это обстоятельство усиливает внимание к системному подходу как инструменту исследования, тем более что за истекший период поставленные российским правительством задачи в области создания интегрированных организаций были выполнены лишь отчасти.

Понятия, входящие в определение системы, тесно связаны между собой и, по мнению Л. фон Бергаланфи [2], не могут быть определены независимо, а определяются, как правило, одно через другое, уточняя друг друга, и поэтому принятую здесь последовательность их изложения следует считать условной. В контексте данных представлений элемент – простейшая, неделимая часть системы. Однако ответ на вопрос, что является частью научно-производственного комплекса, может быть неоднозначным. Например, в системе управления научно-производственным комплексом элементами можно считать каждую структурную единицу, а можно – каждого сотрудника или каждую операцию, которую он выполняет.

Учеными разрабатывались многоконтурные модели управления научно-производственными комплексами. При разработке моделей функционирования сложных саморегулирующихся, самоорганизующихся систем в них, как правило, одновременно присутствуют и отрицательные, и положительные обратные связи. На использовании этих понятий базируется, в частности, имитационное динамическое моделирование.

Цель и связанные с ней понятия целеполагания, целенаправленности лежат в основе развития системы. Процесс целеполагания и адекватный ему процесс обоснования целей в организационно-экономических системах достаточно сложен. На протяжении всего периода развития философии и теории познания происходило развитие представлений о цели. Анализ определений цели и связанных с ней понятий показывает, что в зависимости от уровня познания объекта, алгоритма системного анализа в категорию цель вкладывают различные оттенки – от абстрактной идеализации до прикладной конкретики целей – конечных результатов, которые должны быть достигнуты в пределах заданного интервала времени и обозначаемых в терминах конечного продукта деятельности.

Система может быть представлена простым перечислением элементов или «черным ящиком» – моделью «вход-выход». Однако чаще всего при исследовании объекта такого представления недостаточно, так как необходимо определить, что представляет собой объект, что способствует в нем достижению поставленной цели, получению заданных результатов. При таком подходе система отображается путем разделения на подсистемы, компоненты, элементы с взаимосвязями, которые могут иметь различную форму, и вводится понятие структуры. В заданном алгоритме в сложных системах структура включает не все элементы и связи между ними, а лишь наиболее существенные компоненты и связи, которые мало меняются при текущем функционировании системы и обеспечивают ее существование и основные свойства (в предельном случае, когда пытаются применить понятие структуры к простым, полностью детерминированным объектам, понятия структуры и системы совпадают). Иными словами, структура характеризует организованность системы, устойчивую упорядоченность элементов и связей.

Структурные связи обладают относительной независимостью от элементов и могут выступать как инвариант при переходе от одной системы к другой, перенося закономерности, выявленные и отраженные в структуре одной из них, на другие. При этом системы могут иметь различную физическую природу.

Процессы, происходящие в сложных системах, как правило, сразу не удастся представить в виде математических соотношений или хотя бы алгоритмов. Поэтому для того, чтобы хоть как-то охарактеризовать стабильную ситуацию или ее изменения, используются специальные термины, заимствованные теорией систем из теории автоматического регулирования, биологии, философии.

Исследование процесса развития, соотношения развития и устойчивости, изучение механизмов, лежащих в их основе, – наиболее сложные задачи теории систем. В особый класс выделяют развивающиеся (самоорганизующиеся) системы, обладающие особыми свойствами и требующие использования специальных подходов к их моделированию.

Равновесие и устойчивость в социально-экономических системах, несмотря на кажущуюся аналогию с техническими, – гораздо более сложные понятия, и ими можно пользоваться в основном как некоторыми аналогиями для предварительного описания поведения системы. В самоорганизующихся, развивающихся системах говорят о динамическом равновесии.

Закономерности функционирования и развития систем – устойчивые тенденции, характеризующие принципиальные особенности построения, функционирования и развития сложных систем. Такие закономерности Л. фон Берталанфи вначале называл системными параметрами. Использование закономерностей построения, функционирования и развития систем помогает уточнить представление об изучаемом или проектируемом объекте, позволяет разрабатывать рекомендации по совершенствованию организационных систем, методик системного анализа, выбору подхода и методов исследования системы. При работе с целями в таких системах важно учитывать основные закономерности целеобразования: зависимость формулировки цели от стадии познания объекта и от времени, зависимость цели от внешних и внутренних факторов (которые являются такими же важными, как и внешние), необходимость сведения задачи формулирования глобальной цели к задаче ее структуризации. Результативность достижения целей предприятия достигается в том случае, когда во всем диапазоне возможных воздействий внешней среды на предприятие, характеризующихся своей скоростью развития и интенсивностью, все его подсистемы выполняют свои функции регламентированным образом, при этом существующие помехи минимально искажают реакцию системы. Таким образом, предприятие как эффективно функционирующая система должно отвечать требованиям задачи синтеза системы управления (разработки, совершенствования или реорганизации структуры предприятия), которая должна обладать желаемыми свойствами.

Следует отметить, что рост размеров предприятия ведет к снижению удельных производственных издержек за счет проявления эффекта масштаба и охвата потребительского рынка. Одновременно снижаются удельные транзакционные издержки, связанные с обслуживанием производства и распределения (например, получение информации о товарах на рынке, условиях продаж или покупок, затраты на проведение переговоров, подготовку и заключение контрактов, включая их страхование и т.д.). Однако по мере роста предприятия непрерывно растут расходы на управление, при этом растут не столько прямые, сколько накладные расходы, связанные с осложнением рабочего климата в организации, а также потери, обусловленные ошибками менеджмента в условиях возрастающей неопределенности и динамической изменчивости внешней среды. К примеру, крайне низкая фондооснащенность одного занятого в сфере НИОКР, составляющая около 2 тыс. долларов, не позволяет реализовать научно-технический потенциал исследователей (для сравнения в США данный показатель равен 60 тыс. долларов) [8]. В частности, в Москве лаборатории РАН в среднем оснащены техническими средствами для современного научного поиска в 10 и более раз скромнее, чем лаборатории США. Как отмечает Б. Мильнер [6], в XX веке конкуренция продуктов и услуг стала конкуренцией в сфере организации, т.е. способности объединять усилия, не нарушая автономности составных частей. Одной из форм объединения предприятий в такую интегрированную структуру является холдинг, который позволяет обеспечить сочетание высокой степени самостоятельности отдельных производств и подразделений с возможностью постановки и общих стратегических задач и объединения усилий всех подразделений по их достижению.

Ведущим вопросом управления научно-производственным комплексом является установление оптимальной степени автономности для каждого из входящих в него дочерних предприятий. Выбранная структура связей и ограничений закрепляется соответствующей организационно-правовой формой дочернего предприятия, оптимальным пакетом его акций во владении холдинговой компании, а также распределением прав между дочерним предприятием и холдинговой компанией при принятии различных управленческих решений. Реализуя по отношению к партнерским предприятиям лидирующую функцию, головная компания принимает наиболее важные управленческие решения. Прежде всего, это относится к кадровой политике: назначение и отстранение от должности ответственных руководителей дочернего предприятия и их органов управления. Во-вторых, к ведению холдинговой компании относится организационная структура холдинга. Холдинговая компания анализирует стратегические проблемы объедине-

ния, устанавливает стратегические цели для объединения в целом и отдельных его структурных подразделений, намечает основные пути достижения целей и устанавливает ограничения по бюджетам подразделений и срокам исполнения (стратегические планы). При непосредственном исполнении стратегических планов отдельными предприятиями объединения холдинговая компания соблюдает их автономию в принятии тактических и оперативных решений. Основанием для вмешательства холдинговой компании в процесс тактического и оперативного управления дочерних структур являются:

- значительные отклонения от поставленных целей, угрожающих пересмотром планов всего холдинга. Такая ситуация возникает при наличии у отстающего предприятия тесных связей с другими предприятиями по технологическому циклу производства и реализации продукции;
- кризисная ситуация, угрожающая самому существованию дочернего предприятия;
- возможность получения дополнительного синергетического эффекта при большей координации деятельности некоторых дочерних предприятий (централизация однородных функций, а также функций, объединение которых дает значительный синергетический эффект);
- появление новых рынков, обострение конкуренции на принципиальном для холдинга рынке и т.д.

Кроме стратегического управления, в ведении научно-производственного комплекса целесообразно сосредоточить научно-исследовательские и конструкторские разработки, систему управления качеством, маркетинговые функции, контроль и централизацию финансовых потоков, а также функцию регулятора отношений между дочерними предприятиями. Последнее означает, что персонал научно-производственного комплекса стремится содействовать разрешению противоречий между дочерними предприятиями, источником которых могут быть ограниченность ресурсов дочерних предприятий и доли дополнительного финансирования, которые получают дочерние предприятия из средств холдинга на реализацию своих программ.

Итак, применение системного подхода к поиску наиболее эффективного механизма управления научно-производственным комплексом позволяет выбрать наилучший баланс между управляемостью и автономностью предприятий, входящих в подобную структуру, для создания условий для устойчивого развития организации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева М.Б. Системный подход к формированию нового качества российского бизнеса / М.Б. Алексеева // Гуманитарные проблемы современной цивилизации: VI Международные Лихачевские научные чтения. 26-27 мая 2006 г. СПб., 2006. С. 244-246.
2. Берталанти Л. фон История и статус общей теории систем / Л. фон Берталанти // Системные исследования: ежегодник. 1972. М.: Наука, 1973. С. 20-37.
3. Богданов А.А. Тайна науки / А.А. Богданов // Русский позитивизм: сб. СПб.: Наука, 1995. С. 283.
4. Kanter R.M. When Giants Learn to Dance: Mastering the Challenge of Strategy. Management in Carriers in the 1990s / R.M. Kanter. N.Y.: Simon and Schuster, 1989.
5. Кравченко К.А. Организационное проектирование и управление развитием крупных компаний / К.А. Кравченко, В.П. Мешалкин. М.: Академический проект; Альма Матер, 2006. С. 34-36.
6. Мильнер Б.З. Крупные корпорации – основа подъема и ускоренного развития экономики / Б.З. Мильнер // Вопросы экономики. 1998. № 5. С. 12-15.
7. Программа «Реформирование и развитие оборонно-промышленного комплекса (2002-2006 годы)» // <http://fcp.vpk.ru/cgi-bin/>
8. Сидоркин М.Н. От сырьевой к инновационной экономике России / М.Н. Сидоркин, И.Н. Шапкин // Власть. 2008. № 3. С. 5.
9. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: справочник: учеб. пособие / под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2006. 624 с.
10. Философский словарь / под ред. И.Т. Фролова. 7-изд., перераб. и доп. М.: Республика, 2001. С. 514.

**Кесян Кристина Мисоковна** –

аспирант кафедры «Экономика труда и управление персоналом»

Саратовского государственного социально-экономического университета

**А.Н. Клименков**

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ  
НА ЭКОНОМИКУ МАЛОГО ГОРОДА**

*Изложена проблема эффективности образования для малого города России. Рассматриваются различные стороны поступления и обучения студентов в вузе, вопросы занятости выпускников. Обсуждаются рекомендации, способствующие повышению эффективности образования.*

**A.N. Klimenkov**

**EFFECTIVENESS OF EDUCATION AS A FACTOR OF INFLUENCE  
ON THE ECONOMY OF SMALL TOWN**

*The problem of effectiveness of education for a small town in Russia is stated. Different sides of entering and learning of students and occupation of graduates are observed. Recommendations which can improve effectiveness of education are discussed.*

Реформы 1990-х годов породили беспрецедентное в истории расслоение населения по уровню жизни. Больше всего пострадали сельские жители и молодежь. Нынешний кризис сужает рынок труда. Для 18-20-летних безработица скорее норма, чем исключение. Даже в благополучном 2006 году молодые люди до 30 лет составляли до 45% всех безработных. Формируется ориентация на незанятость, которая со временем становится устойчивой, преобладающей. Не имея возможности получить работу по душе, молодежь удовлетворяется тем, что может найти. До половины всех профессий, приобретаемых выпускниками учебных заведений, оказываются невостребованными на рынке труда. Молодой человек становится своеобразным «профессиональным туристом», часто меняющим профессию, специализацию, место работы. Опросы показали, что около половины учащихся профучилищ и студентов вузов никак не связывают свое будущее с избранной специальностью.

В период экономического перехода малые города оказались в особо тяжелых условиях по сравнению с другими типами российских поселений. Основная отличительная черта таких городов – чрезвычайно ограниченные возможности занятости населения. Многие крупные заводы акционированы, но реально работают из них единицы. На остальных же предприятиях директорат просто использует имеющиеся помещения и оборудование для сдачи в аренду. Соответственно, широкое распространение получила скрытая безработица, когда люди числятся работающими и зарплата при этом не выплачивается.

При этом жители малых городов составляют значительную часть российского населения, проблемы которой нельзя игнорировать: в России 748 малых городов, в которых проживает около 16 миллионов человек.

Реформы также способствовали большому развитию процессов трудовой миграции. В малых городах – это один из главных способов адаптации населения к тяжелым экономическим условиям. Здесь чрезвычайно ограничены возможности занятости населения из-за отсутствия условий для развития бизнеса, неразвитости коммерческих и финансовых структур. Вовлечены в процесс миграции от 6 до 30% населения. Трудовой мигрант – это мужчина (68%), 30-50 лет (75%), семейный (80%), образованный (52% с высшим образованием).

В последние годы увеличились масштабы переподготовки кадров. Что это – возросшая мобильность рынка труда или кризис профессионального образования? Эффективность образования обнаруживается на рынке труда.

По данным службы занятости, сегодня в Саратовской области безработных порядка 27 тыс. человек. Работодатели готовы принять только 9,5 тыс. – 70% рабочих и 30% инженерно-технического персонала. В Балашовском районе с начала года число незанятых выросло на 54% до 1350 чел. при 147 вакансиях.



Несмотря на это, большинство поступающих в высшее учебное заведение преследуют такие цели, как овладение новой профессией или получение новых знаний, расширение кругозора, повышение культурного уровня и т.д.

Часть абитуриентов, подавая документы в высшее учебное заведение, не ставят перед собой подобные цели. Они действуют под влиянием иных факторов, например под давлением родителей или ради получения отсрочки от службы в армии или в связи с отсутствием желания идти работать сразу после школы. При этом часто поступающий предполагает, что по окончании института, став специалистом, он улучшит свое материальное положение, получая более солидную заработную плату по сравнению с работником, не имеющим диплома.

Действительно, выпускник имеет право на отдачу от полученного высшего образования в виде увеличения доходов, ведь, обучаясь в вузе, он тратил время, силы, средства, вместо того чтобы зарабатывать деньги или иным образом распоряжаться самим собой.

Для оценки эффективности обучения в вузе можно использовать специальный показатель – норму отдачи от высшего образования. Он был разработан на Западе еще в 1960-е годы и представляет собой отношение превышения пожизненных заработков лиц с высшим образованием над заработками лиц со средним образованием к сумме затрат на высшее образование. Это выражение показывает степень окупаемости инвестиций в образование человека по аналогии с тем, как норма прибыли дает представление о степени окупаемости вложений в капитал. Чем больше значение нормы отдачи, тем более эффективны вложения в образование. Не вдаваясь в подробности расчета, приведем его результаты.

На основе использования статистики Организации экономического сотрудничества и развития, официальной американской статистики, были рассчитаны нормы отдачи от высшего образования в США и России. В Америке они составили 8,84 для мужчин и 5,99 для женщин, а в России – 3,84 и 3,91 соответственно. Подобное различие величины данного показателя обусловлено, с одной стороны, разницей в оплате труда специалистов, а с другой – различными затратами на обучение. Средняя заработная плата и средства, потраченные на высшее образование в расчете на одного студента в России меньше в разы, чем в США. Первое отрицательно сказывается на благосостоянии населения, а второе – на качестве обучения.

Расчеты позволяют сделать вывод, что экономическая отдача от высшего образования в России в среднем в два раза ниже, чем в США. В связи с этим возникает вопрос, можно ли говорить о низкой эффективности отечественной системы высшего образования, о чем нередко пишет пресса. Необходимо учитывать, что кроме денежных доходов существуют и неденежные. Так, выпускник имеет возможность трудоустроиться на наиболее интересную для него работу, на которой он сможет максимально реализовать свои способности и знания. Как правило, образованным людям удается устроиться на должность с лучшими условиями труда, с меньшей физической нагрузкой и большим разнообразием выполняемых функций.

За время обучения в вузе студент повышает свой интеллектуальный уровень и развивает такие качества, как коммуникабельность, способность принимать самостоятельные нетривиальные решения, наиболее рационально распределять время. Кроме того, образование помогает приобрести большую свободу и уверенность в себе, развивает гибкость и терпимость к другим людям, уважение к культурным ценностям. Обычно образованные люди больше внимания уделяют здоровому образу жизни и рациональному использованию свободного времени для разнообразного активного отдыха. Согласно некоторым исследованиям с ростом уровня образования даже увеличивается средняя продолжительность жизни.

Все перечисленные блага обуславливают эффективность обучения в вузе не только за рубежом, но и в нашей стране. Вообще говоря, в последние годы окончание вуза становится необходимым условием для любого человека, желающего в своей жизни заниматься преимущественно умственным, а не физическим трудом. Это связано с тем, что научно-технический прогресс (НТП) набирает все большие темпы, и современный работник должен обладать такими личностными качествами, знаниями и навыками, которые можно получить и развить только в высшей школе. Чтобы убедиться в этом, достаточно обратить внимание на требования, предъявляемые современным работодателем к работнику в объявлениях о свободных вакансиях. Нетрудно заметить, что наличие высшего образования является первым и основным пунктом при приеме на работу.

Современные темпы НТП, информатизация общества, связанная с распространением информационных технологий и многие другие факторы предъявляют новые повышенные требования к квалифика-

ции работника. Поэтому тот же самый клерк сегодня должен обладать большей мобильностью при выполнении своих функций, быть в состоянии оперативно обрабатывать увеличившиеся объемы информации и на их основе принимать важные решения. Подобное расширение круга обязанностей требует от работника качественного владения компьютерной техникой, зачастую – знания иностранных языков, кроме того, он должен быть быстрообучаемым, самостоятельным и обладать хорошими аналитическими способностями. Перечисленные навыки будущий специалист получает именно в высшей школе.

Подводя итог, можно сделать вывод, что обучение в высшем учебном заведении дает студенту массу ценных навыков, и поэтому вряд ли стоит отказываться от возможности получить образование в нашей стране. Необходимо только помнить, что во многом эта польза будет определяться востребованностью и качеством образования, а потому абитуриенту нужно вдумчивее подходить к выбору специальности и вуза, чтобы в будущем обеспечить себе высокую конкурентоспособность на рынке труда.

За последние годы в стране значительно увеличилось число выпускников вузов. И если в 1990 году студенты-первокурсники составляли чуть больше 50% от всех выпускников школ, то сейчас количество мест в вузах превышает их количество.

При общем дисбалансе между спросом и предложением (1:2) структурный дисбаланс на рынке труда увеличивается: по неквалифицированным профессиям спрос все больше и больше опережает предложение, а по дипломированным специалистам – наоборот. Невостребованными на рынке труда остаются специалисты с самыми «модными» профессиями – экономисты, юристы, менеджеры, работники социально-гуманитарного профиля (предложение в 6-8 раз опережает спрос).

Число выпускников учебных заведений среднего профессионального образования также увеличилось, но снижается выпуск по специальностям машиностроения, электроники, химической технологии. Зато почти в 3 раза увеличилось число выпускников в сфере экономики и управления, а также по социально-гуманитарным специальностям. Именно эти показатели усугубляют структурный дисбаланс рынка труда.

С учетом резкого снижения рождаемости в 1990-е годы и при сохранении уровня приема в вузы, высшая школа как институт подготовки работников квалифицированного умственного труда окажется на грани разрушения.

Это происходит по следующим обстоятельствам:

- профессиональное образование в своей деятельности ориентируется не на рынок труда, а на рынок образовательных услуг в его вульгарном понимании: масштабы и профиль подготовки кадров должны соответствовать потребностям населения в образовательных услугах;
- прием в учебные заведения не контролируется федеральной службой занятости и оторван от ее прогнозов рынка труда;
- отсутствие стандарта профильности образовательного учреждения ведет к необоснованной подготовке специалистов гуманитарного и экономического профиля в технических, аграрных, строительных учебных заведениях;
- отсутствие стандарта качества и квалификационного уровня специалистов многих профессий, особенно «модных»;
- отсутствие четких и обязательных квалификационных требований при приеме специалистов на работу и при переаттестации уже занятых работников.

Необходимо вводить, во-первых, контроль за приемом во все вузы и колледжи со стороны Министерства труда и социального развития РФ и Министерства образования РФ.

Во-вторых, необходимо создание системы социальных стандартов в образовании:

- стандарт профильности вузов;
- нормативы финансирования профессионального образования из федерального бюджета;
- соблюдение Закона РФ «Об образовании», устанавливающего удельный вес приема в вузы на коммерческой основе;
- нормативно обоснованный уровень оплаты труда, который рассчитан на основе прожиточного минимума с учетом факторов квалификации и объема труда;
- стандарт эффективности образования, отражающий предельно допустимый уровень невостребованности выпускников на рынке труда

Развитая экономика, рабочие места – это, прежде всего, действующие промышленные предприятия. Нехватка работников технического профиля останавливает производство, не позволяет вкладывать инвестиции в развитие инновационного продукта. Наличие специалистов – гуманитариев

на рынке труда не дает их использовать в производстве из-за слабой квалификации. Для малых городов России это одна из главных проблем.

**Клименков Андрей Николаевич** –

кандидат технических наук, доцент, директор филиала

Саратовского государственного технического университета, г. Балашов

УДК 338.46

**Е.Г. Коровин**

### **УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМИ ПОТОКАМИ НА ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

*Приведены результаты исследования актуальных проблемных вопросов управления финансовыми потоками на инновационных предприятиях; выявлена одна из главных в условиях экономического кризиса причин сокращения производства в технологических цепях технологических укладов – недостаток мощности финансовых потоков; предложены методические рекомендации по совершенствованию управления финансовыми потоками инновационных предприятий.*

**E.G. Korovin**

### **AN IMPROVEMENT QUALITY MANAGEMENT OF THE FINANCIAL FLOWS AT THE INNOVATIVE ENTERPRISES**

*The results of research of the most actual problems of the financial flows management at the innovative enterprises are represented.*

*One of the main reasons of the production in technological chains of technological ways curtailment in the economic crisis conditions is a lack of capacity of financial flows. The author suggests the methodical recommendations at improvement management of the financial flows at the innovative enterprises.*

Одной из основных причин сложившейся ситуации на предприятиях различных отраслей экономики, в том числе машиностроения, является отсутствие логистического подхода к процессу формирования нового продукта, способствующего быстрому внедрению новых изделий, слабая заинтересованность персонала в их использовании.

Разработка и освоение новых изделий на базе научно-технических объединений, малых инновационных предприятий, основной целью которых является подготовка к развертыванию полномасштабного промышленного выпуска конкурентоспособной продукции, осуществляются для конкретных заказчиков или для свободной продажи на рынках.

Проблемным вопросом для таких предприятий, особенно в условиях финансово-экономического кризиса, является доступ к источникам финансирования. Эта проблема становится практически неразрешимой, если предприятия опираются только на собственные силы и возможности. Кроме того, в отличие от представителей других областей бизнеса, наукоемким предприятиям приходится решать целый ряд специфических проблем, связанных с необходимостью завершения НИОКР, защитой интеллектуальной собственности и коммерциализацией результатов разработки. Актуальным является также вопрос получения квалифицированной помощи как внутри инновационных предприятий, так и извне в поисках источников финансирования, информации о сбыте, разрешении юридических вопросов, создании опытных образцов, внедрении в производство.

Целью данной статьи является анализ состояния и разработка методических рекомендаций по совершенствованию управления финансовыми потоками инновационных предприятий.

За годы реформ в российской промышленности произошло сокращение производства в технологических цепях трех технологических укладов, которые разрабатывались еще до начала реформ. Производство сырьевых продуктов претерпело незначительный спад, промежуточных и особенно конечных продуктов – значительный. Свертывание электроники, приборостроения, исследований в области информационных, телекоммуникационных систем, в том числе фундаментальных, представляет собой вымывание базы современного развития экономики. Если в 1990 г. технологическая структура характеризовалась 6% реликтовых технологий, 37% технологий третьего технологического уклада, 51% и 6% соответственного четвертого и пятого технологических укладов, то уже в середине 90-х годов распределение было следующим: реликтовых технологий – 9%, технологий третьего и четвертого укладов – 42% и 47%, пятого технологического уклада – 2%.

Сокращение технологической базы четвертого и пятого укладов при увеличивающейся доле третьего уклада и доле реликтовых технологий приводит к технологической деградации, особенно ее наукоемких отраслей, таких как оборонный комплекс. Использование результатов научных исследований и разработок с целью получения нового или усовершенствованного продукта, несущего более высокие добавленные стоимости по сравнению с продуктом низкого технологического уровня производства и, как следствие, качества, реализуемого на внутреннем и внешнем рынке, становится практически невозможной. Однако дефицит финансовых ресурсов, неравномерность и слабая насыщенность финансовых потоков лишает предприятия возможности осуществления исследований и разработок.

Все это обостряет проблемы организации процессов в организациях, осуществляющих НИОКР, и диктует необходимость поиска новых подходов к управлению финансовыми потоками как необходимого условия устойчивой деятельности инновационных предприятий.

За последнее десятилетие резко уменьшился удельный вес предприятий, осуществляющих разработку и внедрение нововведений. Если в 1992 г. этот уровень составлял 16,3%, в 1994 г. – незначительно возрос, составив 19,5%, то в 1996 г. упал до 5%. Несмотря на то, что в 1999-2001 гг. активность в этой сфере немного возросла, что было вызвано общими тенденциями роста, в ближайшие годы трудно прогнозировать существенный рост инновационной активности, поскольку для этого отсутствуют необходимые ресурсы, в первую очередь финансовые.

Одним из следствий ухудшения технологической структуры производства является рост в финансовом потоке удельных расходов топлива и энергии в промышленности, который сопровождается повышением цен на топливно-энергетические ресурсы, транспортных тарифов и приводит к росту доли материальных затрат в общем объеме затрат на производство продукции. Указанные закономерности служат одной из причин снижения эффекта роста.

При планировании потока работ по подготовке делового проекта в инновационном предприятии в качестве целей задают:

- временной цели – минимизацию длительности и соблюдение сроков выполнения работ;
- ресурсной цели – оптимизацию использования мощностей и текущих затрат.

При калькулировании затрат и результатов по проекту в целом или его частям задаются цели по затратам и по прибыли, учитывая, что затраты на разработку новых изделий сопряжены с различными схемами финансирования.

В этой связи необходимо остановиться на особенностях управления финансовыми потоками. Так, для ряда инновационных предприятий спецификой является то, что основной заказчик – государство, оплачивающее НИОКР не по реальной стоимости, а исходя из имеющихся ресурсов, то есть дается техническое задание к договору о финансировании научных исследований, экспериментальных разработок и выделяется сумма, за рамки которой нельзя выходить. Поэтому предприятие-исполнитель вынуждено укладываться в эту сумму, исходя из нее устанавливать зарплату и покрывать все остальные издержки. Отсюда следует условие, что процесс НИОКР должен протекать не только в установленные сроки, но и в рамках финансовых ограничений. Соблюдению этого условия способствует логистизация процесса НИОКР, в частности рационализация управления финансовыми потоками.

Формирование и управление финансовыми потоками инновационных предприятий должно строиться с учетом особенностей их финансирования. В данном случае предлагается один из вариантов системы управления финансовыми потоками, обеспечивающими достижение целей делового проекта, выполняемого по государственному заказу. Основные положения этой системы, рассматри-

ваемой как система регулирования финансовых потоков инновационного предприятия, базируются на формировании центров коммерческой ответственности (ЦКО).

Сформулируем общие требования к системе управления финансовыми потоками:

- повышение эффективности управления всеми видами платежей (поступлений и расходов) по полному перечню видов денежных средств (наличные денежные средства, векселя, зачеты и другое);
- применение в управлении прогноза потока денежных средств (cash flows);
- четкое разделение операционных и инвестиционных потоков (счетов);
- обеспечение оптимального сочетания рентабельности и ликвидности, высокой платеже- и кредитоспособности;
- максимальное растягивание сроков платежей при одновременном максимальном сокращении производственно-коммерческого цикла с сохранением объема денежных средств;
- обеспечение соответствия управления финансовыми потоками предприятия условиям банковских операций;

– достижение оперативности, точности (достоверности) и экономичности.

Для реализации сформулированных требований необходимы следующие шаги:

- составить схему финансовых и материальных потоков применительно к конкретному предприятию;
- проанализировать схему потоков, сложившихся на предприятии;
- установить соответствие схемы перечисленным требованиям;
- сформулировать предложения по усовершенствованию действующей схемы;
- определить необходимые информационные потоки для управления усовершенствованной схемой финансовых и других экономических потоков.

Рассмотрим некоторые практические рекомендации по повышению качества управления финансовыми потоками инновационных предприятий согласно сформулированным требованиям.

Например, если в процессе анализа действующей схемы потоков выявлено, что финансовые потоки, отражающие продажи товарной продукции в кредит, являются нежелательными, т.к. снижают эффективность использования оборотных средств и повышают риски убытков от просроченной дебиторской задолженности, то чтобы избежать этого, можно рекомендовать применение следующих методов:

- реструктуризация клиентской базы по критериям платежеспособности и надежности;
- контроль (сокращение периода) оборачиваемости дебиторской задолженности;
- изменение структуры платежей в сторону «живых» денег;
- использование методов стимулирования своевременной и быстрой оплаты;
- использование факторинга как прогрессивной формы финансирования текущих потребностей инновационного предприятия.

Для реализации этих методов необходима адекватная информация, накапливаемая, например, в информационно-логистической службе предприятия.

Другой пример (по недостаткам, выявленным в схеме управления потоками финансовых средств предприятия). Как известно, эффективность оборотных средств повышается прямо пропорционально уменьшению времени прохождения потоков (денежные средства, сырье, производство), а также потоков, отражающих производство, запасы готовой продукции, денежные средства. При этом задержка денег в кредиторской задолженности приводит к повышению эффективности оборотных средств, так как материальный поток проходит дальше, а деньги не выплачиваются (предприятие получает беспроцентный товарный кредит). Предложения для ускорения оборачиваемости оборотных средств и снижения логистических издержек сводятся к использованию следующих методов:

- уменьшение оборотных активов за счет снижения запасов;
- снижение времени и издержек на транспортировку.

Для уменьшения издержек по кредитам и риска снижения ликвидности могут быть рекомендованы следующие меры:

- взаимоувязанная по времени политика привлечения и размещения денежных средств с увеличением доли долгосрочных заимствований в общей сумме заимствований (займы);
- наращивание собственного капитала с увеличением объема нераспределенной прибыли.

Таким образом, предложенные рекомендации по совершенствованию управления финансовыми потоками позволят более обоснованно подходить к выбору и реализации стратегии инвестиций, платежной системы и повышения оборачиваемости финансовых средств за счет оборотных запасов и логистических издержек, формирования эффективной заемной и инвестиционной политики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долбилов В.В. Логистика научно-технической организации / В.В. Долбилов, А.В. Пахомова. Саратов: СГТУ, 2005. 160 с.
2. Ковалев В.В. Управление денежными потоками, прибылью и рентабельностью: учеб.-практ. пособие / В.В. Ковалев. М.: ТК Велби, Проспект, 2008. 336 с.
3. Лукьянов А.А. К вопросу о классификации логистических задач / А.А. Лукьянов // Логистика: современные тенденции развития: VIII Международная научно-практическая конференция 16, 17 апреля 2009 г.: тез. докл. / ред. кол.: В.С. Лукинский (отв. ред.) [и др.]. СПб.: СПбГИЭУ, 2009. С. 175-178.
4. Моисеева Н.К. Экономические основы логистики: учеб. / Н.К. Моисеева. М.: ИНФРА-М, 2008. 528 с. (Высшее образование).

**Коровин Евгений Геннадьевич** –  
аспирант кафедры «Экономика и управление на автотранспорте»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 06.81

**О.В. Краснова**

**ПРИМЕНЕНИЕ СЦЕНАРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (ПЛАНИРОВАНИЯ)  
ДЛЯ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ВАРИАНТОВ ИНВЕСТИРОВАНИЯ  
НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

*Описаны концептуальные основы применения метода сценарного моделирования (планирования) как инструмента оценки и выбора вариантов инвестирования на предприятиях машиностроения Российской Федерации. С помощью данной методики определены основные особенности технологии взаимодействия бизнес-групп в регионе в соответствии с отраслевой спецификой их деятельности.*

**O.V. Krasnova**

**APPLICATION OF SCENARIO MODELLING (PLANNING)  
FOR THE ESTIMATION AND THE CHOICE OF VARIANTS OF INVESTMENT  
AT THE MACHINE-BUILDING ENTERPRISES**

*The basic conceptual bases of application of a method of scenario modelling (planning), as tool of an estimation and choice of variants of investment at the enterprises of mechanical engineering of the Russian Federation are described. By means of the given technique the basic features of technology of interaction business-groups in region according to branch specificity of their activity are certain.*

В современных социально-экономических условиях развития машиностроительной отрасли необходимо правильно определять основные аспекты инвестиционной политики в различных регионах РФ. Поэтому рационально было бы выявлять, оценивать и выбирать различные варианты инвестиционных проектов с учетом той или иной специфики деятельности бизнес-групп машиностроительной отрасли. Актуальным становится выявление такого инструмента определения возможных альтернатив инвестиционной политики, который бы позволил рассматривать как можно большее количество вариантов инвестиционных проектов.

Для дальнейшего благополучного функционирования наиболее перспективными для машиностроения следует считать семь секторов рынка: автомобильный, энергомашиностроения и оборудования для ТЭК, транспортного машиностроения, продукции оборонно-промышленного комплекса, отдельных видов товаров народного потребления, сельскохозяйственной техники и станкостроения. Но всегда есть возможность выгодно вложить деньги в ценные бумаги фирмы, выплачивающей значительные дивиденды или просто положить деньги на депозит в надежный коммерческий банк за весьма привлекательные проценты и т.д. Как выбрать лучшее решение о вложении свободных денежных средств?

В качестве инструмента оценки и выбора вариантов инвестирования рекомендуется применение сценарного моделирования (планирования).

Существует много различных интерпретаций термина «сценарное моделирование (планирование)», но в целом под ним понимается метод (инструмент) конструирования будущих сценариев развития (прогнозов), разработанных вследствие различных изменений или запросов внешней среды.

Наиболее распространенным методом оценки вероятного экономического воздействия каждой альтернативы на будущее является разработка детальных сценариев, в которых предусмотрены три варианта развития событий: оптимистический, пессимистический и наиболее вероятный.

Существенная особенность прогнозных сценариев заключается в том, что они являются инструментами именно корпоративной стратегии и, следовательно, в них делается специальный акцент как раз на тех позициях, которые являются значимыми для менеджеров организации при принятии именно стратегических решений.

Особенно интенсивно сценарное планирование стало развиваться с начала 90-х годов. Указанная особенность сценарного планирования – принадлежность к стратегии – остается существенной и определяющей и для современного сценарного моделирования (планирования). Но при этом более развитыми стали конкретные техники разработки сценариев, а также намного повысились требования к качеству ключевых позиций сценариев, ибо такие позиции являются исключительно важной базой для разработки и/или выбора соответствующих стратегий [1].

Для создания эффективного процесса сценарного моделирования для оценки и выбора вариантов инвестирования предприятий машиностроения можно воспользоваться методикой Питера Шварца, описанной в книге С.А. Попова «Стратегический менеджмент: видение важнее, чем знание», состоящей из восьми шагов (рисунок).

В представленной схеме большое внимание уделяется анализу внешней среды, и немалую роль в этом будет играть определение основных бизнес-групп, взаимодействующих на одном отраслевом пространстве. Отношения организаций внутри региона можно классифицировать представленным ниже способом.

В частности, является ли организация «ведущей» в производственном процессе создания того или иного продукта (услуги), то есть это организация – предприятие-поставщик сырья или комплектующих для предприятий тех отраслей, на которую регион «делает ставку», или же предприятие-производитель непосредственно конечного продукта или является предприятием-продавцом этого продукта.

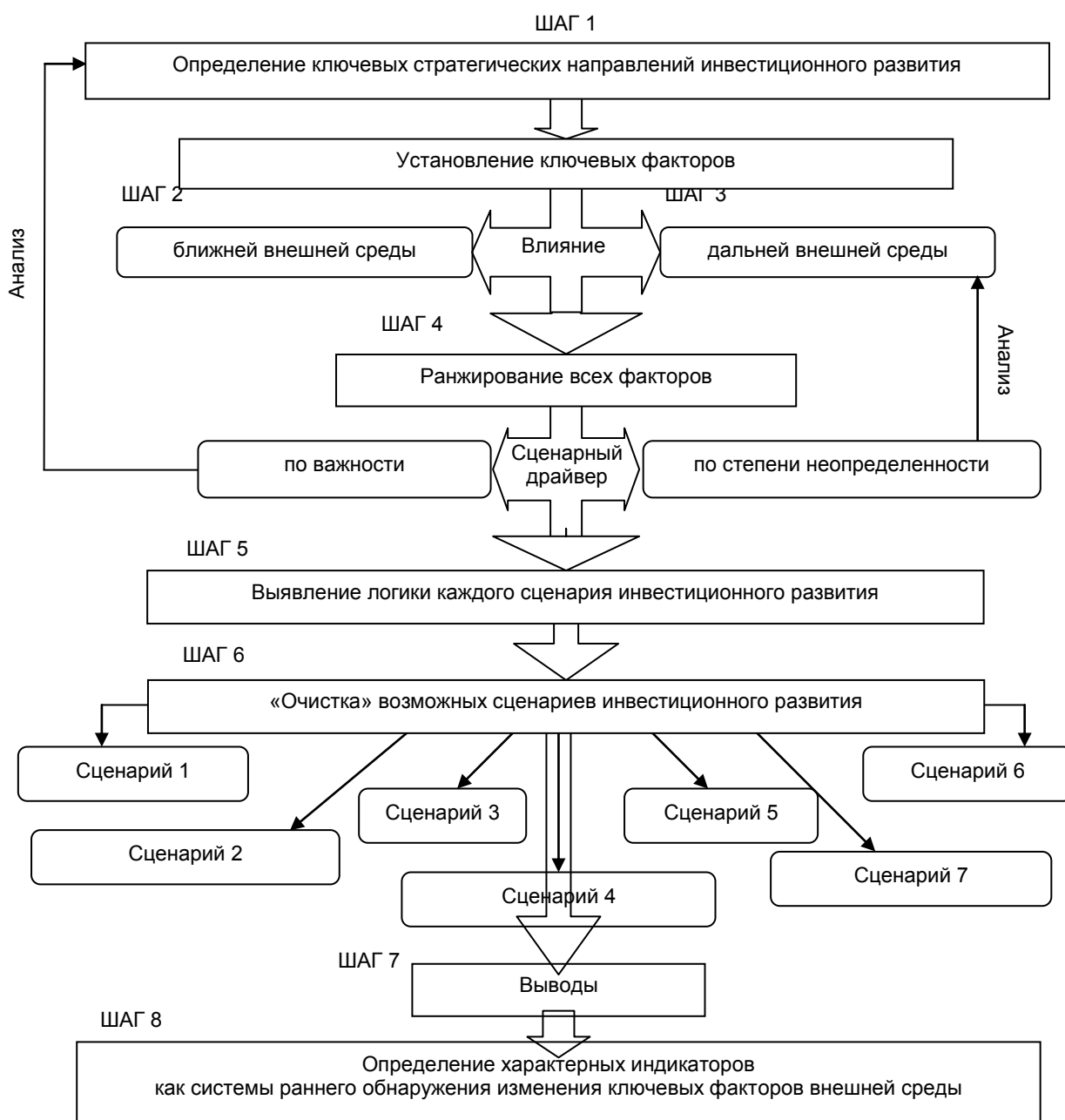
Предприятие может также быть «обслуживающим» – это обеспечивающие деятельность «ведущих» фирм предприятия, например, энергетические компании, логистические фирмы, фирмы, производящие тару, проводящие аудиторские, консалтинговые и другие виды услуг и т.д.

Если «ведущая» фирма, осуществляющая дистрибуцию товара, поставляет его конкретным юридическим лицам (что чаще всего происходит), то такими лицами являются организации-«потребители» – это клиенты или заказчики данного продукта (услуг). Таким «потребителем» могут быть организации розничной торговой сети, организации, работающие в смежных отраслях, даже в соседних регионах, особенно если они представляют собой промышленную «цепочку», к примеру, крупного кластера. Также «потребителями» могут быть вообще сторонние организации, желающие вложить капитал в новые перспективные проекты, администрация региона, государство.

Классификация бизнес-групп на указанные категории позволит упростить процесс сценарного моделирования, представленного на рисунке.

В качестве практического инструмента развития межфирменного взаимодействия можно использовать информационные технологии, а именно создание единой информационной базы фактических и потенциальных «обслуживающих» и «ведущих» фирм, а также фирм-«потребителей» в регионе в соответствии с отраслевой спецификой деятельности этих бизнес-групп. Принцип работы такой

технологии должен быть основан на альтернативном подходе, поэтому рационально было бы использовать методику сценарного моделирования (планирования), когда при большом выборе фирм-партнеров по бизнесу можно выбрать наиболее выгодного с экономической точки зрения и лучшего с точки зрения качественного выполнения своих функций.



Методика сценарного моделирования (планирования) инвестиционного развития

В качестве инструмента такого выбора партнера может выступать формализованный инструмент стратегического моделирования (планирования), как Конфигурации «СКАТ-Профессионал» для 1С: Предприятие 7.7/8.0.

При помощи конфигурации «СКАТ-профессионал» удобно проводить разнообразную аналитическую работу. В частности, с помощью этой программы можно расширить круг своих партнеров-поставщиков комплектующих путем применения функции «Планирование» в Конфигурации «СКАТ».

Итак, подведем некоторые итоги, касающиеся выявления, оценки и выбора различных вариантов инвестиционных проектов с учетом той или иной специфики деятельности бизнес-групп машиностроительной отрасли.



Четко прослеживается следующая последовательность действий:

- исследование внешней и внутренней среды предприятий машиностроения с целью выявления наиболее перспективных путей инвестиционного развития с учетом имеющихся ресурсных возможностей всех участников бизнес-групп;
- отбор всех альтернативных вариантов вложений средств, которые могут быть реализованы с учетом различных оценок доходности проекта по развитию предприятий машиностроения;
- определение абсолютных оценок доходности каждого варианта вложений;
- отбор вариантов, представляющих интерес (экономический, социальный, экологический, политический и т.п.);
- «очистка» остальных вариантов и исключение их из дальнейшего отбора;
- проведение абсолютно-сравнительной оценки одного выбранного варианта: если такая оценка окажется положительной, то данный вариант принимается к реализации, в противном случае он отвергается и осуществляется поиск новых возможностей для выгодного вложения капитала;
- если после абсолютной оценки остаются несколько различных вариантов, то каждый из них подвергается абсолютно-сравнительной оценке по системе разных критериев;
- устанавливается наиболее приоритетный критерий, проводится сравнительная оценка доходности альтернативных проектов по избранному критерию, и более удовлетворительный вариант принимается для реализации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Попов С.А. Стратегический менеджмент: Видение важнее, чем знание: учеб. пособие / С.А. Попов. М.: Дело, 2003. 352 с.

**Краснова Оксана Вячеславовна** –  
ассистент кафедры «Менеджмент, коммерция и право»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 338.24 (075)

**В.И. Мальй**

#### **СОВРЕМЕННЫЕ АНТИКРИЗИСНЫЕ АСПЕКТЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИННОВАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ РОССИИ**

*Рассматриваются актуальные аспекты государственной инновационной политики в современных условиях. Исследованы тенденции применения синтеза научно-технических знаний с качеством человеческого капитала и реализацией организационно-управленческих решений. Сформулированы варианты развития высоких технологий в России.*

**V.I. Maly**

#### **MODERN ANTIRECESSIONARY ASPECTS OF RUSSIAN STATE INNOVATION POLICY**

*The article examines present-day aspects of state innovation policy in current circumstances. It investigates the trends of using scientific and technical knowledge in synthesis with human capital quality and realization of administrative and managerial solutions. It also defines the options of high technology development in Russia.*

Актуальность рассматриваемых антикризисных аспектов государственной инновационной политики на современном этапе обусловлена тем, что в России уровни, тенденции и структура финансирования науки и новых технологий не соответствуют ни текущим потребностям общества, ни стратегической задаче преодоления отставания от лидеров мировой экономики. Российская наука сохраняет свои позиции по некоторым результатам научной деятельности, по вкладу в мировую научную продукцию, но отрыв в реализации результатов, уровнях технологического развития, эффективности государственной научной и инновационной политики не только от развитых стран, но и от развивающихся, увеличивается.

Современная международная статистика, располагающая большими массивами данных о научно-техническом развитии, позволяет сравнивать потенциал и сравнительные преимущества той или иной страны. Так, авторы рейтингов Всемирного экономического форума (ВЭФ) исходят из того, что основной вектор современной глобальной конкуренции лежит в области динамично меняющихся преимуществ, основанных на научно-технических достижениях и инновациях. Индексы ВЭФ ясно показывают наиболее глубокие проблемы инновационного развития России. Страна располагает достаточным по размеру и качеству кадровым потенциалом инновационной сферы, опережая по этому параметру таких мировых лидеров, как Великобритания, Германия, Франция, Нидерланды и многих других. В то же время стимулы инновационной деятельности в частном секторе и качество государственной политики находятся на уровне показателей, характерных для наименее развитых стран мира. Главные проблемы государственной научной политики РФ – непоследовательность, неспособность сформулировать и реализовать научные и инновационные приоритеты. Снижение объемов государственного финансирования науки до уровня малых стран Западной Европы не привело к повышению эффективности государственных расходов, к прогрессивным сдвигам в структуре приоритетов. Резерв оптимизации использования бюджетных средств для решения наиболее важных текущих проблем экономики и общества, создания заделов на перспективу не использован. В результате многократное отставание от стран-лидеров в масштабах научных исследований и разработок по наиболее важным направлениям, в реальном обеспечении объявленных государственных приоритетов России за прошедшие 10-15 лет только углубилось.

В контексте мирового развития ситуация в сфере высоких технологий в России в перспективе может развиваться, по крайней мере, по четырем вариантам:

– Инерционный пессимистический. Сохранение современных тенденций низкой фактической приоритетности научной и инновационной деятельности в общих приоритетах государства и частного сектора приведет к постепенной деградации научных коллективов по широкому спектру фундаментальных и прикладных исследований, в том числе формирующих новый технологический уклад. Это может означать окончательное закрепление за Россией статуса топливно-сырьевого придатка мирового постиндустриального ядра, с постепенной потерей долгосрочных основ конкурентоспособности технологически сложных отраслей четвертого технологического уклада (авиа- и ракетостроение, атомная промышленность, энергомашиностроение), формирующих производственную основу обороноспособности страны.

– Инерционный оптимистический. Доходы от сырьевого экспорта все больше используются (при активной государственной поддержке) для модернизации базовых отраслей обрабатывающей промышленности, транспорта и связи, а также для подтягивания отраслей информационного комплекса в регионах до показателей городов и регионов-лидеров. Реализация стратегии экономического рывка с опорой на технологические наработки лидеров развитого мира, в том числе через механизмы прямых инвестиций наукоемких проектов, может обеспечить существенную экономию времени и средств, но требует высокого уровня обоснованности и гибкости экономической политики, выстраиваемой с учетом долгосрочных тенденций мирового развития.

– Умеренно оптимистический вариант предполагает возможность нарастания постепенной позитивной динамики в госсекторе науки при условии его эффективной трансформации и создания «центров превосходства» на прорывных направлениях нового технологического уклада с перспективой создания экономически значимых открытий и новшеств во второй половине прогнозного периода. К этому же сценарию можно отнести возможность перехода ряда крупных компаний России, в том числе топливно-энергетических, на инновационный путь развития, к чему их подталкивает ожесточенная конкуренция на мировых рынках, все более связанная с обладанием научно-техническими знаниями, качеством человеческого капитала и реализацией организационно-управленческих инноваций. Сочетание этих тенденций в государственном и частнопредпринимательском секторах позво-

лило бы провести глубокую технологическую модернизацию производственного аппарата добывающих и перерабатывающих отраслей, сферы услуг и жилищно-коммунального хозяйства с опорой на национальных производителей. Этот вариант требует резкой активизации и повышения эффективности государственной научной и инновационной политики.

– Наименее реалистичным представляется сценарий создания мощного ядра экономически жизнеспособных отраслей хайтека четвертого и пятого технологических укладов и превращения на этой основе России в крупного производителя и экспортера высокотехнологичной продукции.

Во всех вариантах полноценная полномасштабная интеграция российских производителей в мировой рынок хайтека маловероятна. В лучшем случае они сохранят и упрочат свои «нишевые преимущества» и обеспечат потребности внутреннего рынка страны в высокотехнологичной продукции. Так или иначе, Россия, скорее всего, не сможет противопоставить США, странам ЕС, Японии и Китаю полного набора отраслей массового конкурентоспособного производства технологически сложных товаров и услуг.

Российская научно-исследовательская система принципиально отличается от лучших мировых аналогов все еще очень высокой долей государственного сектора, отсутствием крупных наукоемких корпораций, очень слабым развитием малого инновационного бизнеса, а также фондового рынка и венчурного капитала как источников финансирования инновационных проектов. Так, госсектор науки в России в 2008 г. занимал по доле во внутренних затратах на ИР 72,2%, в нем работали 77,9% всех российских исследователей. В развитых странах доля государства в финансировании исследовательских работ составляет 20-30%, причем собственно в государственных учреждениях осваивается небольшая часть этих средств, остальная идет по контрактам в предпринимательский сегмент.

Необходимо напомнить, что ещё 15 лет назад в России функционировала исключительно государственная система создания и внедрения научно-технических новшеств, а предпринимательского сектора не было в принципе. Научно-промышленные объединения, крупные отраслевые институты с опытными производствами в каком-то смысле можно было считать аналогом крупных наукоемких корпораций, однако они подчинялись совершенно другим законам, нормам, правилам, и инновационной деятельностью это можно было назвать только с очень большой натяжкой. Так, в этот период на фоне успешной реализации за рубежом идеи технопарков как формы интеграции усилий науки, малого и крупного бизнеса при участии региональных властей были созданы первые советские технопарки. Однако, будучи погруженными в принципиально другую, нерыночную экономическую среду, технопарки не могли реализовать в те годы свой научно-технический и экономический потенциал.

На протяжении последних десяти лет в России делались попытки минимальными усилиями со стороны государства и бизнес-сообщества оживить наукоемкий сектор. Недооценка и непонимание возможной роли и места инновационного сектора в экономической системе России и, как следствие, простое копирование хорошо известных за рубежом механизмов финансирования инновационного бизнеса не только не дали ожидаемого результата (притока инвестиций), но и привели к неэффективному расходованию большей части выделенных на эти цели государственных и частных ресурсов.

Так, одним из важнейших элементов инфраструктуры финансирования инновационных разработок являются венчурные фонды. Однако при всей своей привлекательности они не являются универсальным механизмом, обеспечивающим полное финансирование создания инновационного продукта, а нацелены в основном на завершающие стадии разработки, начиная с создания опытного образца. Хотя в настоящее время в нашей стране получило развитие венчурное финансирование малых инновационных фирм на стартовой фазе их развития, в большинстве случаев начальные стадии разработки инновационной продукции финансируются из собственных средств организации либо с привлечением грантов. Собственно стадия производства финансируется путем привлечения обычных банковских кредитов, формирования финансовых пулов и т.д. В отсутствие промышленности, способной воспринимать современные разработки, а также устойчивой и гибкой кредитно-денежной системы венчурный механизм финансирования вряд ли даст ожидаемый значительный положительный эффект. Многие российские эксперты в отношении него в настоящее время настроены скептически, поскольку в РФ пока нет полноценных условий для развития венчурной индустрии. Речь идет о несовершенстве законодательства, неразвитости фондового рынка и потому низкой ликвидности венчурных инвестиций, о нехватке квалифицированных менеджеров, понимающих специфику венчурных предприятий, и о нежелании разработчиков расстаться с контрольным пакетом акций, без чего получить средства в объеме, достаточном для масштабного производства новой продукции, практически невозможно.

На российском рынке капиталов отсутствуют достоверная информация и инструменты страхования инвестиционных рисков, что не позволяет вновь возникающим фирмам получать доступ к финансовым ресурсам на равных условиях с крупными компаниями, а инвесторы не хотят вкладывать деньги в новые предприятия. Институт финансовых посредников развит слабо. Страховые компании, пенсионные, взаимные и венчурные фонды, а также инвестиционные банки практически не участвуют в инновационном бизнесе. Отсутствие финансовых посредников приводит к повышению издержек фирмы на приобретение необходимых факторов производства, затрудняет продвижение новых торговых марок на рынки и заключение контрактных отношений с иностранными партнерами.

Уровень и тенденции развития малого наукоемкого бизнеса в России не соответствуют не только требованиям современного этапа глобального научно-технического развития, но и задачам освоения уже накопленного в России научно-технического потенциала, а также коммерциализации большого числа оригинальных научных и инженерных решений, появляющихся в государственных научных центрах в ходе реализации современных федеральных программ. Более того, с 2007 г. официальная статистика регистрирует постепенное сокращение как числа работающих малых предприятий в научно-технической сфере, так и числа занятых в них работников.

В складывающейся структуре поддержки малого инновационного предпринимательства значительная ее часть осуществляется федеральными и, в некоторых случаях, региональными фондами путем выделения средств непосредственно малым инновационным фирмам, часто на возвратных условиях в форме льготного кредитования. Реально на такую поддержку могут претендовать лишь уже сложившиеся фирмы, имеющие свои наработки и некую производственную базу. Это – один из возможных вариантов государственной поддержки малого инновационного предпринимательства, и он, бесспорно, имеет право на существование. Однако практика осуществления подобной «прямой» формы поддержки показывает, что ее эффективность, влияние на общие процессы развития малого инновационного предпринимательства достаточно скромны.

В этих условиях развитие и повышение эффективности уже существующих механизмов сотрудничества между научными институтами и организациями, с одной стороны, и компаниями частного бизнеса, с другой, т.е. технопарков, инкубаторов, инновационно-технических центров и другие – перспективный вариант ускорения инновационного развития.

Усилия по стимулированию инновационной деятельности должны быть сконцентрированы на устранении основных причин незаинтересованности бизнеса в долгосрочных инновационных проектах. Среди наиболее важных проблем, которые требуют первоочередной разработки механизмов государственного регулирования инновационной деятельности, можно назвать следующие:

- разработка новых форм кредитования крупных инновационных проектов;
- предложения по условиям предоставления государственных гарантий по привлеченным в инновационную сферу кредитам;
- развитие механизмов консолидации финансовых ресурсов государственного и частного предпринимательского секторов экономики для реализации приоритетных научно-технических задач, содействие формированию и регулирование деятельности партнерств частного сектора и государства;
- включение инновационных задач в основные программы экономического и социального развития; использование механизма закупок технически передовой и наукоемкой продукции в целях решения задач здравоохранения, экономии энергии и сохранения окружающей среды;
- разработка механизмов оценки государственных инновационных программ и доведения результатов этой оценки до делового и экспертного сообщества;
- содействие формированию международных и региональных технологических стратегических альянсов;
- содействие в создании центров технического содействия и передачи технологий малому бизнесу при университетах;
- содействие развитию частных организаций в сфере экспертизы и технологического аудита.

**Малый Вадим Игоревич** –

доктор социологических наук, доцент, заведующий кафедрой «Антикризисное управление» Поволжской академии государственной службы им. П.А. Столыпина

О.А. Мызрова

## МАШИНОСТРОЕНИЕ КАК КЛАСТЕР ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ

*Рассмотрены вопросы формирования регионального машиностроительного кластера, позволяющего повысить активность инновационного развития региона, его конкурентоспособность, приводятся методика оценки возможности и обоснование формирования машиностроения кластера на территории региона.*

О.А. Myzrova

## MACHINE-BUILDING AS CLUSTER OF INNOVATION ECONOMY

*Forming of regional machine-building cluster, which allows promoting activity of innovative development of region and its competitiveness, are considered in the article. Led a method of estimation of possibility and justification of machine-building's forming on territory of region.*

Инновационное развитие экономики на основе стимулирования кластеризации предполагает инициативу и совместные действия не только бизнеса, но и государства. Функции администрации всех уровней, научно-образовательных учреждений и предпринимателей при развитии кластеров должны быть взаимодополняющими. В частности, муниципалитет должен инициировать процессы кластеризации и всемерно оказывать поддержку потенциальным участникам объединения. Он должен проводить активную работу в построении взаимодействия между различными субъектами экономики. Развивать кластер в отрыве от развития территории в целом неэффективно.

В настоящее время в регионах наблюдается значительный разрыв в цепочке создания и промышленного освоения новых знаний. С одной стороны, научный сектор, слабо ориентированный на потребности экономики, ограничен в производственных и финансовых ресурсах для самостоятельного освоения и вывода новшеств на рынок. С другой стороны, промышленность обладает свободными производственными мощностями, но не рискует вложениями в те инновации, которые не подтвердили свою состоятельность на рынке. Таким образом, сохраняется разрыв между потенциальными звеньями инновационного кластера. Отсутствие взаимосвязи научно-исследовательских организаций, институтов с конкретными промышленными предприятиями и опыта коммерциализации высоких технологий являются серьезными причинами, сдерживающими развитие инновационных кластеров. Преодолению этого должно способствовать формирование кластеров с центром – национальные исследовательские вузы, которые одинаково эффективно ведут образовательную и научную деятельность на основе принципов интеграции науки и образования. На 2009 г. каждому национальному исследовательскому университету планируется выделить по 200 млн. руб., а с 2010 по 2013 гг. – ежегодно по 400 млн. руб. Эти средства университеты могут использовать на закупку оборудования для оснащения научно-исследовательских лабораторий современным оборудованием, подготовку кадров, создание новых образовательных программ и на гранты для молодых ученых. Оборудовав лаборатории, университеты смогут участвовать в федеральной целевой программе «Исследования и разработки» и других программах с гораздо большим потенциалом. В связи с тем, что бюджетные средства этим университетам будут выделяться только первые пять лет, а дальше они могут зарабатывать сами через различные программы, актуальным является и объединение их с предприятиями. На наш взгляд, здесь возникает обоюдывыгодная заинтересованность: с одной стороны, университеты обеспечивают формирование интеллектуального капитала, интеллектуальной собственности, которая принесет прибыль путем воплощения в конкретные инновационные технологии, продукты, услуги, необходимые производству, а с другой – предприятия смогут через их внедрение обеспечивать повышение своей конкурентоспособности. Кроме того, предложение инноваций будет опережать или хотя бы соответствовать потребностям рынка, спросу на них, а не наоборот. Еще один немаловажный фактор – подготовка высококвалифицированных специалистов, также в соответствии с потребностями экономики, конкретных предприятий, а не перенасыщение рынка одними специалистами при отсутствии других (см. рисунок).

Обоснование возможности формирования регионального кластера можно проводить, на наш взгляд, на основе оценки потенциала кластеризации, т.е. наличия конкурентных преимуществ вида экономической деятельности, предприятий и инфраструктурных организаций, находящихся на территории региона, возможности их объединения. Выявление потенциала кластеризации в регионе предлагается проводить по следующей методике:

1. Коэффициент локализации вида экономической деятельности на территории региона:

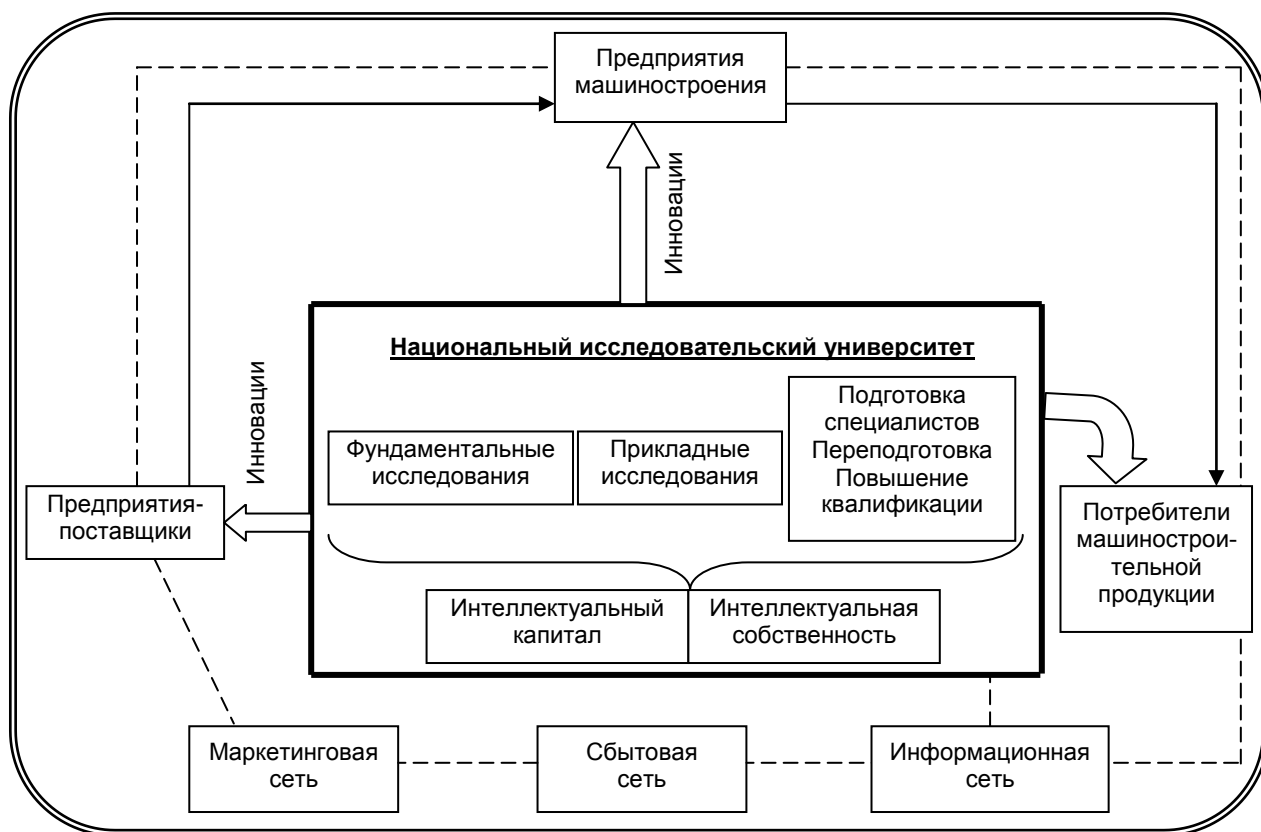
$$K_1 \approx \frac{V_o}{V_p}, \quad (1)$$

где  $V_o$  – производство валового регионального продукта по видам экономической деятельности, тыс. руб.;  $V_p$  – производство валового регионального продукта, тыс. руб.

2. Коэффициент оборота по видам экономической деятельности:

$$K_2 \approx \frac{V_{об}}{V_{об,p}}, \quad (2)$$

где  $V_{об}$  – оборот организаций по видам экономической деятельности;  $V_{об,p}$  – оборот в регионе по всем видам экономической деятельности.



Структура регионального машиностроительного кластера

3. Коэффициент душевого производства продукции:

$$K_3 \approx \frac{V_o}{Q_p}, \quad (3)$$

где  $Q_p$  – среднегодовая численность занятого населения по видам экономической деятельности.

4. Коэффициент количества предприятий:

$$K_4 \approx \frac{Q_o}{Q_n}, \quad (4)$$

где  $Q_o$  – количество предприятий по видам экономической деятельности;  $Q_n$  – количество предприятий в регионе.

Эти коэффициенты в совокупности позволяют определить вид экономической деятельности региона, имеющий наибольший потенциал кластеризации.

Следующие расчеты позволят выявить направление внутри вида экономической деятельности, в частности среди обрабатывающих производств.

5. Коэффициент численности:

$$K_5 \approx \frac{Q_{з.о.}}{Q_{з.п.}}, \quad (5)$$

где  $Q_{з.о.}$  – численность занятых на предприятиях определенного вида экономической деятельности, чел.;  $Q_{з.п.}$  – численность занятых на предприятиях обрабатывающего производства, чел.

6. Коэффициент отгруженных товаров собственного производства:

$$K_6 \approx \frac{V_m}{V_{m.n}}, \quad (6)$$

где  $V_m$  – объем отгруженной продукции собственного производства предприятиями конкретного вида экономической деятельности, тыс. руб.;  $V_{m.n}$  – объем отгруженной продукции собственного производства предприятиями обрабатывающего производства, тыс. руб.

$$K_7 \approx \frac{V_{u.o.}}{V_{u.n}}, \quad (7)$$

где  $V_{u.o.}$  – количество поданных заявок на изобретения, на образцы, свидетельства на полезные модели предприятиями определенного вида обрабатывающего производства;  $V_{u.n.}$  – количество поданных заявок на изобретения, на образцы, свидетельства на полезные модели предприятиями обрабатывающего производства.

8. Коэффициент инвестиций:

$$K_8 \approx \frac{I_o}{I_n}, \quad (8)$$

где  $I_o$  – объем инвестиций предприятий определенного вида обрабатывающего производства, тыс. руб.;  $I_n$  – объем инвестиций в обрабатывающем производстве, тыс. руб.;

9. Интегральный коэффициент:

$$K \approx \sqrt[4]{K_5 \circ K_6 \circ K_7 \circ K_8}. \quad (9)$$

Проведенные расчеты по данной методике позволили определить потенциал кластеризации машиностроения как обрабатывающего вида экономической деятельности Саратовской области (результаты расчетов приведены ниже).

Таблица 1

Выбор вида экономической деятельности для формирования регионального кластера [1]

Вид экономической деятельности	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	0,16	0,023	0,068	0,079
Рыболовство, рыбоводство	0,000	0,000	0,052	0,001
Добыча полезных ископаемых	0,034	0,032	3,64	0,005
<b>Обрабатывающие производства</b>	<b>0,177</b>	<b>0,26</b>	<b>0,072</b>	<b>0,09</b>
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	0,081	0,129	1,44	0,008
Строительство	0,062	0,056	3,594	0,083
Оптовая и розничная торговля, ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	0,138	0,322	0,82	0,272
Гостиницы и рестораны	0,008	0,004	1,27	0,016
Транспорт и связь	0,127	0,122	0,57	0,062
Финансовая деятельность	0,001	0,000	0,000	0,022
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	0,072	0,036	0,308	0,17
Государственное управление и обеспечение военной безопасности, обязательное социальное обеспечение	0,018	0,001	0,015	0,033
Образование	0,042	0,006	0,255	0,058
Здравоохранение и предоставление социальных услуг	0,038	0,004	0,028	0,016
Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	0,012	0,005	0,066	0,085

Как видно из табл. 1, наиболее предпочтительным является выбор оптовой торговли (0,33), обрабатывающего производства (0,25) и строительства (0,13), имеющих соответствующие интегральные показатели. Однако в соответствии с определением инновационного кластера, на наш взгляд, далее необходимо определить наиболее предпочтительный вид экономической деятельности внутри обрабатывающего производства, предварительно проведя укрупненную группировку (табл. 2).

Таблица 2

Выбор вида экономической деятельности обрабатывающего производства для формирования регионального кластера [1]

Вид экономической деятельности обрабатывающего производства	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K
<b>Машиностроение</b>	<b>0,442</b>	<b>0,254</b>	<b>0,933</b>	<b>0,183</b>	<b>0,61</b>
Пищевая промышленность	0,143	0,245	0,81	0,176	0,51
Химическая промышленность	0,129	0,289	0,95	0,179	0,53
Нефтехимическая промышленность	0,086	0,061	0,79	0,18	0,41
Металлургическое производство	0,06	0,052	0,84	0,12	0,36

Таким образом, проведенный анализ позволил установить целесообразность формирования машиностроительного кластера, который будет способствовать развитию инновационной активности и конкурентоспособности региона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Статистический ежегодник Саратовской области. 2007 г.: стат. сб. / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Саратовской обл. Саратов, 2008. 344 с.

**Мызрова Ольга Александровна** –

кандидат экономических наук,

доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении»

Саратовского государственного технического университета

УДК 33

**Е.В. Нуштаева**

#### **ЛОГИСТИЧЕСКОЕ БЮДЖЕТИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМИ ПОТОКАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ**

*В целях активизации внутренних резервов роста эффективности предприятия рекомендуется внедрение совместного применения технологий бюджетирования и логистического подхода в управлении финансовыми потоками. Уточнены понятия бюджетирования: логистического, процессного, затратного. Сформулировано понятие «логистизация бюджетирования».*

**E.V. Nushtaeva**

#### **LOGISTICAL BUDGETING AS THE MANAGEMENT TOOL FINANCIAL STREAMS OF THE ENTERPRISE**

*With a view of activization of internal reserves of growth of efficiency of the enterprise introduction of joint application of technologies of budgeting and the logistical ap-*



*proach in management of financial streams is recommended. Concepts of budgeting are specified: logistical, process, account.*

В современных экономических условиях необходим поиск путей роста эффективности деятельности внутри самих предприятий машиностроения. Один из таких путей – совершенствование финансово-экономического механизма управления предприятием на основе принципов коммерческого расчета и самостоятельности, децентрализации и горизонтальной интеграции [1]. Последние, в свою очередь, позволяют реализовать преимущества децентрализации управления, когда структурные подразделения предприятия и их сотрудники приобретают полномочия и ответственность за результаты своей деятельности в рамках горизонтально интегрированных центров финансовой ответственности (ЦФО) – самостоятельных бюджетных единиц. В этой связи к актуальным задачам развития предприятий региона следует отнести внедрение системы управленческого учета и её ориентацию на формирование сбалансированной системы показателей для оценки эффективности управления предприятием, решение задач гибкого ценообразования в конкурентной среде, повышение эффективности управления финансовыми потоками в рамках системы бюджетирования. Дополнительные возможности в реализации последней задачи даёт совместное применение технологий бюджетирования и логистического подхода в управлении финансовыми потоками.

Логистизация процесса бюджетирования предполагает применение принципов, механизмов и инструментов логистики к процессу бюджетирования в целях повышения эффективности деятельности за счет оптимизации потоково-распределительных процессов предприятия путем управления финансовыми потоками (как частью единого материально-информационно-финансового потока) согласованно по процессам, подразделениям, видам продукции.

Логистическое бюджетирование [2] – это планирование единой системы материальных, финансовых и информационных потоков, основанное на законах логистики, своевременное установление и прогнозирование возможных отклонений от бюджетных показателей, оперативное восстановление их равновесия (управление по отклонениям) в условиях устранения излишней звенности в принятии решений при управлении по отклонениям. Составление бюджетов при этом – заключительный этап процесса оптимизации и учета затрат в разрезе основных видов деятельности (процессов) и звеньев (ЦФО) в рамках общей логистической цепи.

Отличительными чертами логистического бюджетирования могут стать:

- комплексная система управления ресурсами на основе оптимизации материальных, трудовых, информационных и финансовых потоков за счет обеспечения их согласованности;
- его содержание и последовательность соответствуют стратегическим целям, технологиям предприятия и жизненным циклам продуктов;
- учитывает стратегию развития предприятия, отраслевые и региональные особенности рыночного спроса на основе оптимизации переменных и постоянных издержек в рамках маржинального анализа;
- его продуктом является только гибкий бюджет;
- предполагает непрерывность внутрихозяйственного планирования и оперативного управления в условиях преемственности стратегических и тактических планов различных ЦФО и предприятия в целом;
- является процессно-ориентированным.

Процессным бюджетированием [3] будем называть такое, когда:

- центры ответственности выделяются по принципу соответствия структуре сложившихся бизнес-процессов, а не сложившейся организационной структуре предприятия;
- в процессе децентрализации полномочий и ответственности выделяются центры прибыли, контролируемые центры затрат. Центры прибыли – подразделения, непосредственно управляющие функционирующими внутри предприятия бизнес-процессами, зарабатывающие деньги. Центрами затрат становятся подразделения, которые тратят средства. Административные подразделения (плановый отдел, финансовый отдел, бухгалтерия и т.п.) превращаются в центры затрат;
- внедрение системы трансфертного ценообразования внутри предприятия.

Признаки затратного бюджетирования [3]:

- центры ответственности выделяются по принципу соответствия сложившейся организационной структуре, что снижает эффект системности в управлении;

- делегирование крайне ограниченного круга полномочий и широкого круга ответственности по исполнению затрат, что приводит в процессе децентрализации управления к формированию ряда центров затрат, которые в рамках процессного подхода являлись бы хозяевами процесса (центрами прибыли), что сужает их сферу ответственности, снижает инициативность и эффективность деятельности;
- многоступенчатое согласование конкретных текущих расходов в рамках выделенного и уже закрепленного бюджета ЦФО;
- бюджет не является гибким: используется как план, база сравнения для итогового контроля и анализа, не используется для оперативного управления по отклонениям.

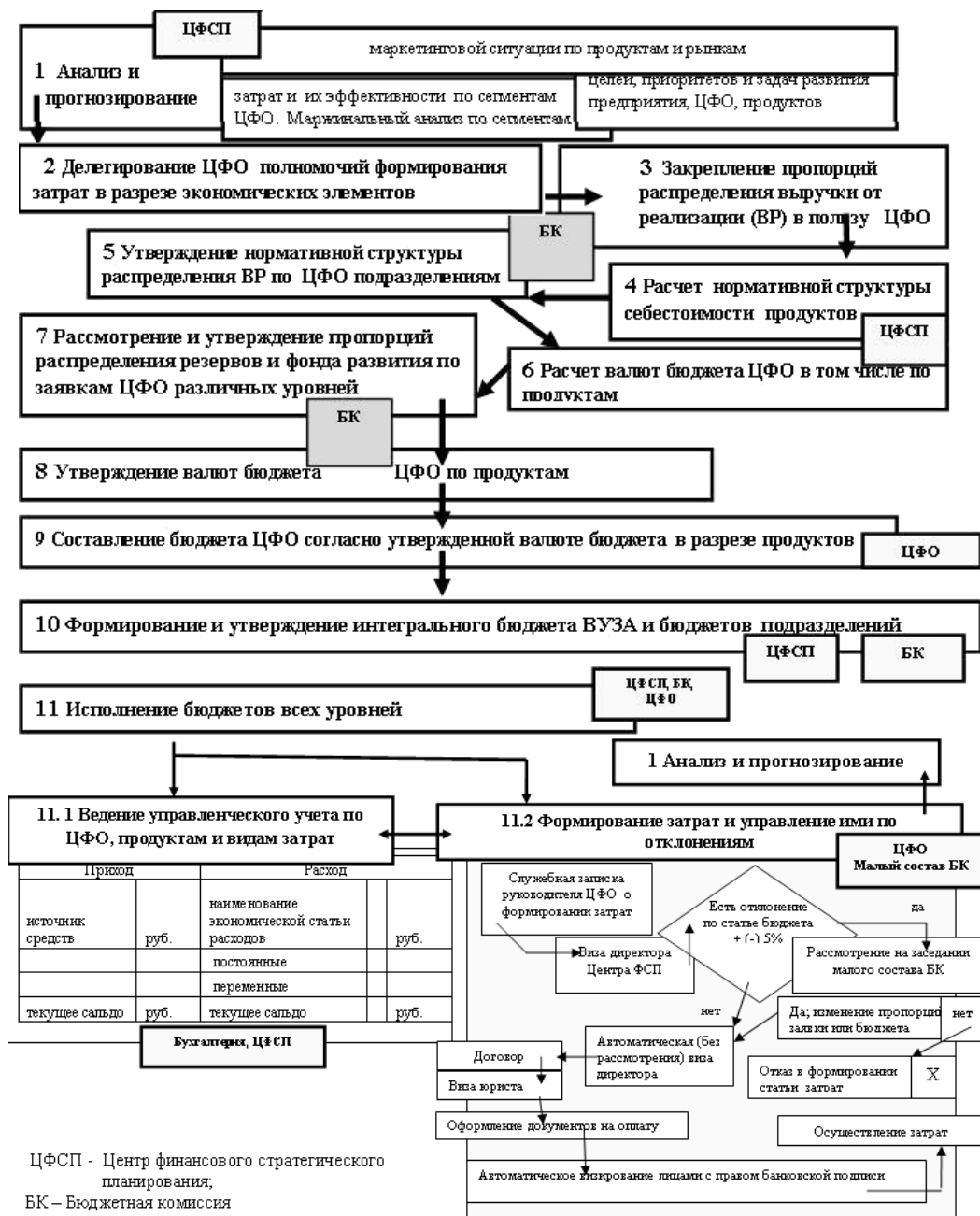


Схема бюджетного процесса и бюджетного управления в рамках реализации логистического подхода к бюджетированию

Тем не менее, если показатели эффективности исполнения бюджетов ЦФО увязаны с материальным и моральным стимулированием сотрудников, затратное бюджетирование позволяет существенно повысить качество финансового и общего менеджмента; стимулировать формирование мис-

сии и стратегии предприятия, системы показателей качества продукта, системы управленческого учета; мотивацию персонала. Затратное бюджетирование (или его элементы) часто становится первым шагом на пути поэтапного внедрения системы логистического бюджетирования, когда необходимо получить опыт подобного управления и преодолеть естественное сопротивление в условиях централизации и жесткой иерархии в управлении.

В условиях его децентрализации при внедрении процессного бюджетирования не происходит потери управляемости, так как данное делегирование является гибким, коллегиальным, и право «вето» всегда остается за лицами, обладающими правом подписи.

Следует учитывать, что система затратного бюджетирования полностью не реализует потенциальные эффекты от внедрения данной технологии в сравнении с процессным бюджетированием. Кроме того, затратное бюджетирование с течением времени может привести к нежелательным эффектам.

Таким образом, основой логистического бюджетирования как технологии управления финансовыми потоками является хорошо продуманная организационная система распределения функций и, что самое главное, детальное закрепление прав и ответственности по процессам между подразделениями, получающими статус ЦФО. Совокупность ЦФО, каждый из которых отвечает за конкретный финансовый результат, называется финансовой структурой предприятия. Именно финансовая структура является основой, самой важной частью логистического бюджетирования, от которой в максимальной степени зависит успешность функционирования всей системы.

Реализации логистического подхода к бюджетированию приводит, в первую очередь, к оптимизации принципиальной схемы бюджетного управления и соответствующего ему бюджетного процесса (деятельность по составлению, рассмотрению, утверждению и исполнению бюджетов – см. рисунок).

Анализ состояния организации управленческого учета и бюджетирования на предприятиях (организациях) региона показал, что данные инструменты внедряются в коммерческих и некоммерческих организациях и предприятиях различных организационно-правовых форм, отраслей и сфер деятельности. Первыми (с 2002-2004 года) и наиболее продвинутыми на сегодняшний день стали: крупные коммерческие предприятия с разветвленной региональной структурой; организации, деятельность которых связана с информационными продуктами и технологиями; крупные предприятия торговли. В 2005-2008 годах активизировались в организации и внедрении управленческого учета и бюджетирования предприятия машиностроительного комплекса (например, Саратовский подшипниковый завод), вузы и другие государственные организации со смешанным финансированием.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Столярова М.А. Центры ответственности: сущность и необходимость создания / М.А. Столярова // Экономический анализ: теория и практика. 2007. № 16 (97). С. 17-22.
2. Марусина Е.И. Обоснование концепции логистического бюджетирования / Е.И. Марусина // Финансы и бухгалтерский учет. М.: МГТУ, 2005.
3. Чурин А.В. Как заставить систему бюджетирования работать? / А.В. Чурин // Финансовый менеджмент. 2007. № 2. С. 28-47.

**Нуштаева Елена Вячеславовна** –  
ассистент кафедры «Менеджмент, коммерция и право»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 331.101

**Е.А. Павлова**

#### **НЕОБХОДИМОСТЬ АТТЕСТАЦИИ РАБОЧИХ МЕСТ ПО УСЛОВИЯМ ТРУДА**

*Рассматриваются вопросы аттестации рабочих мест по условиям труда на современных предприятиях. Проанализирована динамика численности профессио-*

*нальных заболеваний, травматизма и удельного веса работников, занятых во вредных и опасных условиях труда.*

**E.A. Pavlova**

## **NECESSITY OF WORKING PLACE'S ASSESSMENT OF LABOR CONDITIONS**

*The article examines questions about working place's assessment in modern plants. Author analyzes dynamics of number of professional sickness, ranks and specific gravity of workers who works in harmful labor conditions.*

В современных условиях проблема создания достойных условий труда на российских предприятиях является важнейшей задачей. Улучшение условий труда, устранение причин несчастных случаев и профессиональных заболеваний, дальнейшее совершенствование законодательства о труде являются важными государственными задачами.

Условия труда становятся центральным вопросом в процессе совершенствования его организации. Во многих случаях ни высокая заработная плата, ни дополнительные выплаты и льготы не могут сделать бессодержательный и тяжелый труд привлекательным даже в условиях высокого уровня безработицы.

Несмотря на позитивные изменения, показатели профзаболеваемости в России остаются достаточно высокими по сравнению с аналогичными показателями развитых стран ОЭСР. По данным Министерства здравоохранения и социального развития РФ, за последние пять лет в России было зарегистрировано более 44 тыс. профзаболеваний. Уровень смертельного травматизма в стране составляет 12 случаев на 100 тыс. работающих, что в несколько раз выше, чем в США и странах Евросоюза. Ежегодно погибают 4.5 тыс. чел., 20 тыс. человек становятся инвалидами, 180 тыс. человек получают профессиональные заболевания, потери рабочего времени, по оценкам, составляют около 700 млн. дней в год, из-за опасных условий труда досрочно на пенсию уходят 37% россиян. По словам зам. министра здравоохранения и социального развития А. Сафонова, дополнительные расходы государства, вызванные неблагоприятными условиями труда на производствах, приводят к тому, что ежегодно Россия теряет 4% ВВП<sup>1</sup>.

Каждый из рассмотренных факторов, особенно санитарно-гигиенические и психофизиологические, оказывают определенное воздействие на здоровье и работоспособность рабочего. Если несколько из них действуют одновременно, они взаимно усиливают общее воздействие на человека. Проведенными медико-физиологическими исследованиями установлены предельно допустимые значения каждого из факторов, при которых они не оказывают отрицательного влияния на здоровье работающего. Зная эти пределы и объективно определив фактические величины конкретных значений действующих на рабочих местах факторов, можно целенаправленно проводить мероприятия по улучшению условий труда.

Поскольку производственные условия труда рассматриваются с точки зрения их влияния на организм работающего, оценка их фактического состояния должна основываться на учете последствий такого влияния на здоровье человека. При этом очень важно учесть все многообразие факторов, формирующих условия труда.

Наиболее эффективным методом оценки условий труда является оценка санитарно-гигиенических факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса, осуществляемая при аттестации рабочих мест.

Данные Росстата за последние несколько лет свидетельствуют о сложившейся устойчивой положительной тенденции в проблеме условий труда в нашей стране.

Так, в табл. 1 мы видим число работников, получивших профессиональные заболевания (отравления) с 1980 по 2007 год. За период с 2001 по 2007 год наблюдается постепенное сокращение величины данного показателя до его значения в советский период.

В табл. 2 представлена численность работников, пострадавших при несчастных случаях на производстве. Наиболее показательной здесь является относительная численность таких работников на 1000 работающих. Здесь также наблюдается тенденция к сокращению за указанный период с 2004 по 2007 год.

---

<sup>1</sup> [http://www.rost.ru/news/2008/04/231446\\_13790.shtml](http://www.rost.ru/news/2008/04/231446_13790.shtml)

Таблица 1

Профессиональные заболевания (отравления)\*(человек)<sup>1</sup>

Показатели	1980	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Численность больных с впервые установленным профессиональным заболеванием (отравлением): Всего	7651	11525	11367	9280	11224	11090	10121	9888	8156	7715	7501
на 10 000 работающих	1,53	1,96	1,89	1,81	2,22	2,19	2,03	2,01	1,69	1,60	1,54

\* По данным Минздравсоцразвития России.

Таблица 2

Травматизм на производстве (человек)<sup>2</sup>

Показатели	2004	2005	2006	2007
Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве с утратой трудоспособности на один рабочий день и более и со смертельным исходом: всего, тыс.	88	78	71	66
на 1000 работающих	3,4	3,1	2,9	2,7
Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве со смертельным исходом: всего	3292	3091	2900	2986
на 1000 работающих	0,129	0,124	0,118	0,124

Однако из табл. 3 видим, что численность работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, практически во всех сферах экономической деятельности увеличивается. Следовательно, увеличивается количество рабочих мест, а эти рабочие места, в свою очередь, также должны соответствовать нормативным показателям, чтобы не наносить вред работникам.

Таблица 3

Удельный вес численности работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, по видам воздействующих производственных факторов (на конец года; в процентах от общей численности работников соответствующего вида экономической деятельности)<sup>3</sup>

Вид экономической деятельности	Всего работали в условиях, не отвечающих гигиеническим нормативам		Работали под воздействием повышенного (ной)							
			уровня шума, ультра- и инфразвука		уровня вибрации		запыленности воздуха рабочей зоны		загазованности воздуха рабочей зоны	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007
Добыча полезных ископаемых	35,0	37,9	19,8	21,5	7,9	8,7	11,7	12,5	4,2	4,6
Обрабатывающие производства	24,4	25,3	13,6	14,2	2,0	2,2	6,7	6,5	6,4	6,5
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды**	28,0	29,5	14,9	15,6	3,1	3,3	6,2	6,5	5,5	5,4
Строительство	12,1	14,0	4,7	5,6	2,3	2,8	2,9	3,0	3,2	3,3
Транспорт и связь	20,8	23,3	10,1	11,1	4,7	5,4	1,2	1,2	2,0	2,0
из них:										
транспорт	26,5	29,9	13,1	14,5	6,2	7,2	1,6	1,6	2,5	2,5
связь	3,0	2,7	0,6	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,4

\*\* Кроме деятельности по обеспечению работоспособности электрических и тепловых сетей, распределения газообразного топлива и воды.

<sup>1</sup> [http://www.gks.ru/bgd/regl/b08\\_13/IssWWW.exe/Stg/d1/05-34.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b08_13/IssWWW.exe/Stg/d1/05-34.htm)

<sup>2</sup> [http://www.gks.ru/bgd/regl/b08\\_13/IssWWW.exe/Stg/d1/05-32.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b08_13/IssWWW.exe/Stg/d1/05-32.htm)

<sup>3</sup> [http://www.gks.ru/bgd/regl/b08\\_13/IssWWW.exe/Stg/d1/05-28.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b08_13/IssWWW.exe/Stg/d1/05-28.htm)

Аттестация рабочих мест по условиям труда позволяет выявить данные несоответствия существующих условий труда на предприятии установленным нормативам.

При аттестации рабочих мест проводится комплексная оценка условий труда на основе специальных исследований факторов производственной среды. Результаты этой работы используются предприятиями и организациями для проведения мероприятий для улучшения условий труда, установления доплат, льгот и компенсаций за работу в неблагоприятных условиях труда, в том числе за счет собственных средств предприятий и организаций, а также для определения дифференцированных тарифов (взносов) на государственное социальное страхование в зависимости от условий труда, подготовки статистической отчетности об условиях труда, принятия мер по надлежащему санитарно-бытовому и профилактическому обеспечению работников организации, обоснования ограничений труда для отдельных категорий работников и рассмотрения вопроса о приостановлении эксплуатации зданий или сооружений, машин и оборудования, осуществления отдельных видов деятельности, оказания услуг вследствие непосредственной угрозы жизни или здоровью работников.

Аттестации рабочих мест по условиям труда подлежат все имеющиеся в организации рабочие места. Она включает гигиеническую оценку условий труда, оценку травмобезопасности и обеспеченности работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ). При аттестации рабочих мест по условиям труда оценке подлежат все имеющиеся на рабочем месте вредные или опасные производственные факторы, тяжесть и напряженность. Оценка факторов производственной среды и трудового процесса основана на гигиенической классификации условий труда.

Но мировой экономический кризис грозит ослаблением внимания государства к условиям труда, в которых приходится трудиться работникам. Но даже в такой ситуации аттестация рабочих мест является неотъемлемой частью мер по охране труда на предприятии, за своевременное проведение которых обязан нести ответственность работодатель.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.gks.ru>
2. <http://www.rost.ru>

**Павлова Екатерина Алексеевна** –  
аспирант кафедры «Экономическая теория и учения»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 06.75.37

**А.Н. Плотников, Д.А. Плотников**

#### **АНАЛИЗ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПОТОКОВ МАЛЫХ НАУКОЕМКИХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНОПАРКОВОЙ СТРУКТУРЫ «ВОЛГА-ТЕХНИКА»**

*Инновационная деятельность связана с расширением реализации результатов научных исследований и разработок в области создания современных технологий, выпуска высокотехнологичной, конкурентоспособной на внутреннем и мировом рынках продукции. Но необходимо отметить, что отдельно взятое малое предприятие неустойчиво. Оно может погибнуть в жестких рыночных условиях. Поэтому важным является корпоративное объединение малых предприятий для их совместной инновационной деятельности, создание новых организационных моделей инновационного процесса.*

A.N. Plotnikov, D.A. Plotnikov

## ANALYSIS OF INVESTMENT FLOW AT SMALL BUSINESS HIGH TECHNOLOGY ENTERPRISES OF «VOLGA-ENGINEERING» TECH PARK

*Innovative activity is interrelated with expanding the scope of incorporation of research results and developments relating to modern technologies, and manufacturing high-tech products with a competitive edge maintained both at home and on the international markets. However, the position of a single small business enterprise is unstable, and it may go broke under tough market conditions. Therefore, it is critical to set up corporate associations of small business enterprises to conduct their innovative activity, and create organizational models needed for the innovative process.*

Как структурное подразделение вуза, осуществляющее по доверенности университета правомочия юридического лица, технопарк «Волга-техника» СГТУ предназначен для активизации научно-технической и технологической деятельности ученых вуза, создания малых фирм по выпуску наукоемкой высокотехнологичной продукции по новейшим технологиям, трансфера новейших технологий в отечественную промышленность и в зарубежные страны, развития инфраструктуры инновационного процесса.

Сегодня технопарк «Волга-техника» является основным инновационным подразделением научно-исследовательской части СГТУ. Инновационная деятельность структурных подразделений технопарка характеризуется данными таблицы.

Инновационная деятельность структурных подразделений  
технопарка «Волга-техника» СГТУ за 2005-2008 гг.

Показатели	Объем инновационной деятельности по годам, тыс. руб.			
	2005	2006	2007	2008
Объем инновационной деятельности – всего, в том числе <b>по структурным подразделениям:</b>	<b>24849,2</b>	<b>9899,8</b>	<b>19402,1</b>	<b>177786,8</b>
НПФ «Градиент-С»	6454,9	746,3	828,5	390,9
НИЦ «Энергоком»	1620,6	676,5	978,6	1601,8
НПФ «Пьезон»	2549,1	1172,3	201,7	293,5
НПЦ «ЭлМа-Т»	5799,8	1939,7	1014,9	182,4
НПФ «Прибор-Т»	220,8	456,9	1420,7	2197,1
НПФ «Лотос-Т»	422,9	5,1	12	159,2
НТЦ «Механик-Т»	613,6	331,2	687,4	261,0
Инжиниринговый центр «Дельта»	3361,1	531	327,7	99,0
ИСЦ «Унсертинг»	546,3	786,1	1673,9	2143,5
НПФ ЭЛЭС	227,4	208,3	668	262,0
НПФ ВГС	111,2	185,6	78,2	-
ЦКГ «Сфера-Т»	39,7	24,7	590	2672,1
ПРИАЦ «Информбизнес»	146,4	65,7	22,5	0
НТЦ «Квалитет»	380,1	780,6	9415,2	5398,3
НПФ «Агрометалл-1»	57,7	110,7	661,0	573,3
Энгельское отделение ТП «Иннотех»	1190	1125,9	1085,2	1507,0

Следует отметить, что созданный на базе многопрофильного технического университета технопарк «Волга-техника» СГТУ в своем составе имеет фирмы и предприятия, осуществляющие выпуск широкого ассортимента наукоемкой высокотехнологичной продукции.

Технопарк «Волга-техника» СГТУ оказывает квалифицированную помощь молодым инновационным фирмам, ученым, которые решили заняться малым предпринимательством в научно-технической сфере, но без соответствующей поддержки не могут этого сделать. Технопарк является материально-технической, экономической, научной основой развития, становления инновационных предприятий и создает все условия для коммерциализации научных знаний и наукоемких технологий.

Наиболее яркими представителями технопарковой структуры «Волга-техника» являются такие малые наукоемкие высокотехнологичные предприятия, как НПФ «Градиент-С», НТЦ «Механик-Т», НТЦ «ЭлМа-Т» и др.

Инновационную деятельность научно-производственной фирмы «Градиент-С» инвестируют такие предприятия как КОО «Сарком», «Норильская горная компания», ОАО «БАТ-СТФ», ООО «Газнадзор», ООО «Газпром», ОАО «Жировой комбинат», ЗАО «Янтарное», ЗАО НПП «Прогресс» и другие.

В 2001 году инвестиционные потоки фирмы «Градиент-С» формировались за счет инвестиционных ресурсов 14 фирм. Справедливости ради следует отметить, что доля некоторых инвесторов в общем объеме инвестирования НПФ «Градиент-С» невелика. Так, инвестиционная компания ИК «Фисоник» вложила всего лишь 0,3% от общего размера инвестиций, КОО «Сарком» – 1%, «Норильская горная компания» – 1%, ОАО «Сарэнергомаш» – 2%, ОАО «Балаковское химволокно» – 4%. Наиболее «значимыми» инвесторами в 2001 году для НПФ «Градиент-С» стали ОАО «БАТ-СТФ» – 16%, ОАО «Жировой комбинат» – 16%, ФГУП ПО «Корпус» – 28%.

В 2003 году количество инвесторов практически сохранилось на прежнем уровне. Вместе с тем возрос минимальный вклад инвесторов в инновационную деятельность НПФ «Градиент-С».

В 2005 году инвестиционные потоки фирмы «Градиент-С» формировались за счет инвестиционных ресурсов 7 фирм. Следует отметить, что доли инвесторов, таких как фирма «Кронверк-Ф», ЗАО «САЗ», ООО «СТАММ», ЗАО «Трест Энгельсстрой», в общем объеме финансирования НПФ «Градиент-С» невелики и составляют соответственно 1, 1, 0,5, 0,5%. Наиболее значимым инвестором в 2005 году для НПФ «Градиент-С», стал Поволжский филиал РУГОТУПС – 70%. Но следует из общего числа инвесторов также выделить ФГУП ПО «Корпус» – 18%.

В 2006 году количество инвесторов осталось на прежнем уровне по сравнению с предыдущим годом. Но следует отметить, что изменился состав инвесторов. Появились новые инвесторы: ЗАО «Янтарное», ОАО «Саратовстройстекло», ОАО «Свердловская энергосервисная компания», Управление по эксплуатации и ремонту зданий и сооружений правительства области. Вместе с тем наиболее значимый инвестор 2005 года – Поволжский филиал РУГОТУПС в финансировании деятельности НПФ «Градиент-С» в 2006 году не участвует. Изменилась доля вложений некоторых инвесторов. Доля вложений ЗАО «САЗ» выросла с 1% в 2005 году до 5% в 2006 году. ФГУП ПО «Корпус» совершил серьезный скачок с 18% в 2005 году до 69% в 2006 году и стал наиболее значимым инвестором. К крупным инвесторам в 2006 году можно также отнести ЗАО «Янтарное» – 12%.

2008 год характеризуется значительным уменьшением количества инвесторов, что обусловлено мировым финансовым кризисом. Наиболее значимыми и единственными инвесторами в 2008 году в общем объеме финансирования деятельности НПФ «Градиент-С» стали: ЗАО НПП «Прогресс» – 68%, ОАО «Саратовстройстекло» – 32%.

Таким образом, что следует отметить, за анализируемый период менялись количество и состав инвесторов, и их вклад в инновационную деятельность НПФ «Градиент-С». Вместе с тем проведенный анализ позволил выявить постоянных инвесторов. К ним следует отнести ОАО «САЗ», ОАО «Жировой комбинат». Но их вложения невысоки. При этом ОАО «САЗ» не участвует в финансировании НПФ «Градиент-С» с 2007 года, ОАО «Жировой комбинат» не являлся инвестором в 2008 году.

Подводя итог проведенному по НПФ «Градиент-С» исследованию, можно сделать вывод о том, что источники инвестиций в нем весьма ограничены. В большинстве случаев к ним можно отнести только средства заказчика, в качестве которых выступают отечественные предприятия. Не используется широкий спектр возможных источников и современных методов инвестирования, которые имеются в зарубежной и отечественной практике инвестирования инновационной деятельности.

Далее проведем исследование по научно-техническому центру «Механик-Т». Это также одна из малых структур технопарка «Волга-техника».

В 2001 году инновационную деятельность НТЦ «Механик-Т» финансировали 16 инвесторов. Их вложения по своим размерам, так же как НПФ «Градиент-С», разнятся на порядок – от 3% до почти 30%. Незначительны вложения БМУ – 3%, ООО «Полимер» – 3%. К крупным инвесторам НТЦ «Механик-Т» следует отнести ОАО «КамАЗдизель» – 16%, СПАТП-4, г. Саратов, – 20%, ООО «Союзтрандеталь» – 29%, ООО «Инвест» – 12%.

В 2005 году инновационную деятельность НТЦ «Механик-Т» финансировали 16 инвесторов. Их вложения по своим размерам разнятся на порядок – от 1 до 40 %. Незначительны вложения большинства инвесторов. К крупным инвесторам НТЦ «Механик-Т» следует отнести ООО «Союзтранс-



деталь» – 40%, с 2001 года относится к разряду крупных инвесторов БМУ – 11%, доля этого инвестора выросла по сравнению с предыдущим годом; в 2004 году она равнялась 6,2%, МУП ОМО Балашовского района «Водозабор» – 10%, этот инвестор является новым для предприятия.

2006 год характеризуется резким снижением количества инвесторов – с 16 инвесторов в 2005 году до 7 инвесторов в 2006 году. Вместе с тем уменьшилось количество незначительных инвесторов, в то время как количество крупных инвесторов осталось на прежнем уровне. К крупным инвесторам финансирования деятельности НТЦ «Механик-Т» в 2006 году следует отнести: ООО «Союзтрансдеталь» – 55%, постоянного и стабильного инвестора, ЗАО «Волгоцентр», ОАО «Запсибгазпром» – 19%, вложения этого инвестора выросли по сравнению с предыдущим годом на 11%, услуги автосервиса – 13%.

В 2008 году количество мелких инвесторов снизилось. Удельный вес инвесторов в общем объеме финансирования инновационной деятельности колеблется от 1 до 37%. Несущественны вложения филиала ФГУП ГЦСС «Управление спец. связи» – 1%, ММУ «Городская станция скорой медицинской помощи» – 4%. К крупным инвесторам в 2008 году следует отнести ОАО «Саратовские обои» – 37%, Услуги автосервиса – 22%, ФГУПНВ НИИГ – 17%.

Не только к крупному, но и стабильному инвестору следует отнести ООО «Союзтрансдеталь», который на протяжении всего анализируемого периода им является.

В целом, анализируя ситуацию в плане инвестирования инновационной деятельности НТЦ «Механик-Т», можно сделать вывод: в инновационной деятельности используются практически одни источники инвестиций – средства заказчика. Но заказчиками у НТЦ «Механик-Т» являются не только юридические, но и физические лица в случае оказания сервисных услуг.

Научно-технический центр «Элма-Т» также является структурным подразделением технопарка «Волга-техника».

Финансирование его инновационной деятельности в 2001 году осуществлялось 10 инвесторами. Но вклад большинства инвесторов незначителен – от 3,3% ГУНПП «Электронные системы» до 8,2% ОАО «Саратовнефтегаз». Более значительным, можно сказать, глобальным выглядит ГНПП «Контакт» – 76%. По сравнению с этим инвестором остальные смотрятся очень бледно. На долю ГНПП «Контакт» приходится практически 80% инвестиций, 8% на ОАО «Саратовнефтегаз» и все остальные инвесторы занимают всего лишь 16%.

В 2005 году появилось несколько новых инвесторов: ЗАО «Энгельский мукомольный завод», ООО Производственное предприятие «Волгопласт», ООО НПФ «ЭлТрон-С». Лидирующее положение среди инвесторов по-прежнему занимает ГНПП «Контакт». Его доля увеличилась до 92% в 2005 году по сравнению с 82% в 2004 году. Остальные инвесторы очень мелкие – от 1 до 2%.

В 2006 году существенно изменился состав инвесторов. Появились следующие новые инвесторы: ОАО «Балашовслюда», ФГУ ИК-13 ГУФСИН России по Саратовской области, ООО НПП «Бурэксpress», ООО НПК «Магниты и магнитные системы», ОАО «ВолтайрПром», ООО «СИТИ».

По-прежнему лидирует ГНПП «Контакт». Но его доля уменьшилась до 67% в 2006 году по сравнению с 92% в 2005 году. ООО НПП «Бурэксpress» занимает 13% в общем объеме инвестиций, ОАО «Тантал» – 11%. Остальные инвесторы очень мелкие – от 1 до 3%.

Финансирование инновационной деятельности НПЦ «Элма-Т» характеризуется в 2007 году появлением новых инвесторов, таких как: ООО «Цементные технологии», ООО «Анемона», ОАО «Каустик», ОАО Самарская промышленная компания «Роман». Однако вклад большинства инвесторов незначителен – от 3 до 5%.

Бессменным лидером остается ГНПП «Контакт». На его долю в 2007 году приходится 67%, так же как и в 2006 году. ФГУ ИК-13 ГУФСИН России по Саратовской области и ООО НПП «Бурэксpress» занимают по 5% в общем объеме финансирования деятельности НПЦ «Элма-Т».

Инвестиционные потоки НПЦ «Элма-Т» в 2008 году формировались за счет инвестиционных ресурсов 7 фирм. Но доля некоторых инвесторов в общем объеме инвестирования НПЦ «Элма-Т» невелика. Так, ОАО «Тантал» и ФГУП НПП «Торий» вложили по 4% от общего размера инвестиций.

Лидером среди инвесторов остается ГНПП «Контакт». Но на его долю в 2008 году приходится всего лишь 41%. По сравнению с предыдущими годами доля выглядит не так значительно. К крупным инвесторам финансирования инновационной деятельности НПЦ «Элма-Т» следует также отнести ФГУ ИК-13 ГУФСИН России по Саратовской области – 23%, ООО Научно-производственный комплекс «Магниты и магнитные системы» – 15%.

Нельзя не отметить лидирующее положение ГНПП «Контакт», но справедливости ради, необходимо сказать, что инвестиционные вложения постоянного, крупного инвестора имеют тенденцию к снижению.

Подводя итог проводимому исследованию по НТЦ «Элма-Т», следует сделать вывод о том, что главным источником его инновационной деятельности являются средства заказчика, но НТЦ «Элма-Т» инвестируется как частными, так и государственными предприятиями.

Таким образом, малыми наукоемкими предприятиями технопарковых структур СГТУ не используется широкий спектр возможных источников и современных методов инвестирования, которые имеются в зарубежной и отечественной практике инвестирования инновационной деятельности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шукшунов В.Е. Университетские технопарки: идеи, назначение, роль и место в развитии инновационной деятельности / В.Е. Шукшунов. М., 2000. 39 с.
2. Атоян В.Р. Организация научной и инновационной деятельности в вузе / В.Р. Атоян. Саратов: СГТУ, 1996. 226 с.
3. Технопарк «Волга-техника» / В.Р. Атоян, А.А. Коваль, В.Ю. Тюрина, Д.Э. Рычков // Технопарки и инновационно-технологические центры России: сб. статей / под ред. проф. В.Е. Шукшунова. М., 2000. С. 95-105.

**Плотников Анатолий Николаевич** –  
доктор экономических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Экономика и управление в строительстве»  
Саратовского государственного технического университета

**Плотников Денис Анатольевич** –  
кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление в строительстве»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 331.103

**Л.А. Подсумкова**

### **К ВОПРОСУ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

*Перечислены основные факторы влияния на состояние организации труда, основные направления развития организации труда на предприятиях машиностроения и показатели экономической эффективности мероприятий по совершенствованию организации труда.*

**L.A. Podsumkova**

### **ABOUT QUESTION OF LABOUR ORGANIZATION IN MACHINE-BUILDING ENTERPRISES**

*Major factors of influence on a condition of job management, the basic directions of development of job management at the enterprises of mechanical engineering are revealed. The basic parameters of economic efficiency of actions on perfection of job management are listed.*

В основе качественных сдвигов, происходящих в современной экономике, лежит инновационная направленность стратегии и тактики развития производства. Инновационная активность экономики приобрела характер центрального социально-экономического процесса в индустриально развитых странах. Изменения факторов производства выражаются в возрастании их информационной, интеллектуальной и инновационной составляющих.

Для России в настоящий момент, когда Президентом РФ Д.А. Медведевым провозглашен курс на построение инновационной экономики, наиболее остро стоит проблема формирования промышленных предприятий инновационного типа, осуществляющих активную инновационную политику.

Жесткая конкуренция, сложившаяся в последние годы на рынке, вынуждает предприятия всё чаще обращать внимание на такой аспект развития производства, как инновации. Внедрение инноваций все больше рассматривается ими как единственный способ повышения конкурентоспособности производимых товаров, поддержания высоких темпов развития и уровня доходности.

Необходимость инновационного развития производства предъявляет новые требования к содержанию, организации, формам и методам организации деятельности, кадровому потенциалу машиностроительных предприятий. Она диктует появление особого типа менеджмента, направленного на управление процессами обновления всех элементов производственных систем, включая и организацию труда на предприятиях.

Организация труда как система на уровне предприятия – это совокупность организационных отношений и организационных связей между работниками и средствами производства и работников друг с другом, обеспечивающая определенный порядок протекания трудового процесса, характер функционирования рабочей силы и средств производства и определенную эффективность трудовой деятельности. Эти организационные отношения и связи – элементы системы организации труда.

Рыночные отношения, базирующиеся на конкуренции, диктуют необходимость постоянного поиска хозяйствующими субъектами путей повышения своей конкурентоспособности, в том числе за счет организационного развития. Наиболее адекватным этим условиям является инновационный тип управления организацией труда, основанный на разработке и внедрении оргнововведений и направленный на коренное совершенствование организации труда, обеспечение более полного ее соответствия параметрам технико-технологической базы производства.

Важнейшее направление решения проблемы перехода к инновационному типу управления организацией труда – использование целевых комплексных программ. Основные преимущества, которые дает применение целевых комплексных программ в управлении организационным развитием, заключаются в следующем:

- возможность реализации системного подхода при решении проблем организационного развития. Это означает возможность установления связи организационного развития производственной системы с ее научно-техническим, экономическим и социальным развитием;

- системный подход обеспечивает комплексное решение проблем организационного развития на основе установления связей внутри самой организационной системы между процессами организационного совершенствования в сфере организации технологических процессов, организации труда и организации управления. За счет обеспечения взаимоувязанности, согласования и синхронизации перекрестных процессов возможно получение дополнительного эффекта деятельности, превышающего сумму эффектов организационного совершенствования независимо в трех названных сферах;

- организация процесса развития с помощью целевых комплексных программ (ЦКП) предусматривает установление соответствующих обеспечивающих связей; появляется возможность управлять процессами обеспечения реализации мероприятий организационного совершенствования системы. Это не только повышает реальную осуществимость планов организационного развития, но и делает их более обоснованными как в части объектов, так и в части сроков реализации, а, стало быть, и в части ожидаемых результатов;

- управление организационным развитием с помощью механизма ЦКП, реализуемого посредством функциональных служб и линейных звеньев, но вне структуры установившихся между ними связей по управлению производством, позволяет осуществлять контроль и регулирование этого процесса и обеспечить кооперацию исполнителей в достижении конечных целей. Эффект кооперации достигается благодаря возможности координировать с помощью ЦКП усилия отдельных служб и звеньев управления, направляемые на реализацию единых целей организационного развития.

Наиболее адекватной природе организационных нововведений является такая форма программно-целевого управления нововведениями, как проблемно-ориентированное управление, обеспечивающее опережающее управление. Последнее особенно необходимо в условиях рыночной конкуренции, когда предвидение необходимых и возможных путей достижения высоких конечных результатов на базе организационного совершенствования производства и реализации мер по их осуществлению, становятся одними из приоритетных направлений развития, не требующих особо крупных инвестиций.

Все системы, входящие в данную производственно-хозяйственную систему в качестве составляющих ее элементов, в том числе организационная система, а также ее составляющая – система организации труда – обладают способностью вступать в определенные связи с другими элементами системы [10]. Эта способность создает возможность воспроизводства всех внутренних процессов и целесообразного функционирования всего производственно-хозяйственного комплекса как единого целого. Таким образом, другим фактором оценки эффективности организации труда является ее способность к самоорганизации, которая носит объективный характер. Валентность производственной системы напрямую определяется уровнем и качеством самоорганизации составляющих ее элементов, в том числе организации труда. Сложность и многообразие связей в современных производственных системах, динамика научно-технического и социально-экономического развития последних лет делают все более затруднительной, а в ряде случаев малоэффективной детальную регламентацию трудовых внутрисистемных связей. Это приводит к необходимости большее предпочтение отдавать процессам самоорганизации труда.

Самоорганизация ставит перед управлением двуединую задачу: с одной стороны, управлять процессами установления и обеспечения рациональных связей посредством их регламентации, контроля и регулирования, с другой – создавать необходимые организационно-технические и социально-экономические условия, обеспечивающие позитивное развитие процессов самоорганизации труда.

К основным факторам, определяющим состояние организации труда на современных предприятиях, можно выделить: повышение роли персонала, рост корпоративной культуры; изменение отношения к труду и его организации у предпринимателей и менеджеров; научно-технический прогресс и переход к инновационной экономике; расширение полномочий на рабочем месте; изменения содержания трудовой деятельности: падает роль навыков физического манипулирования предметами и средствами труда и возрастает значение концептуальных навыков; возросшее значение внимательности и ответственности, навыков общения, устной и письменной коммуникации.

Основными направлениями развития организации труда можно считать:

1. Совершенствование условий труда, в первую очередь в малом бизнесе. В негосударственном секторе экономики еще не выработаны четкие механизмы реализации охраны труда, большинство нанимателей нуждается в создании необходимой инфраструктуры обеспечения охраны труда, включающей нормативное и информационное обеспечение, подготовку и повышение квалификации работников, а также оказание методической помощи при разработке мероприятий по профилактике травматизма и профессиональной заболеваемости [4].

2. Совершенствование планирования, организации и обслуживания рабочих мест, по результатам которого проводится аттестация рабочих мест, в т.ч. по условиям труда. Современные рабочие места характеризуются высокой степенью механизации и автоматизации и, соответственно, высоким уровнем капитальных и текущих затрат на эти цели [5, 7].

3. Повышение квалификации персонала. Тема повышения квалификации затрагивает сразу два важнейших аспекта – подготовка, переподготовка и повышение квалификации персонала и повышение его мотивации. Высокая квалификация любого специалиста – это результат, складывающийся из опыта работы, образования и непрерывной работы над собой. Даже при желании работника его процесс подготовки тормозится несоответствием большинства российских корпоративных программ современным реалиям бизнеса и производства, что отражают результаты аттестации персонала многих отечественных предприятий [2, 6, 8].

4. Совершенствование нормирования труда, особенно в непромышленной сфере. В последнее время много внимания уделяется нормированию труда в сфере управления, но результативность их введения достаточно низка. Кризисная ситуация в сфере нормирования обусловлена влиянием многих факторов, касающихся теории нормирования: недостаточное, утерянное знание природы норм труда, недопонимание ее социальной сущности и др. [1, 9].

Проведение анализа организации труда требует обязательной оценки ее уровня. Результаты количественной оценки уровня организации труда в значительной степени зависят от используемой методики. Методика должна быть простой и удобной при пользовании, базироваться на имеющихся данных [3, 9, 10].

Система показателей, определяющих уровень организации труда, должна удовлетворять определенным требованиям. В основе количественной оценки необходимо иметь единый критерий, позволяющий сопоставлять уровни организации труда аналогичных производственных подразделений, рабочих мест. Все показатели – общий и частные – должны выражать действительные изменения в организации труда и отражаться в динамике его производительности.

Анализ организации труда обязательно должен включать определение экономической эффективности решений в области организации труда.

Организация труда имеет экономическую и социальную направленность и, соответственно, дает экономический и социальный эффекты.

Основными показателями экономической эффективности мероприятий по совершенствованию организации труда, определяющими целесообразность их внедрения, являются: рост производительности труда; годовой экономический эффект.

Наряду с основными показателями используются также дополнительные или частные показатели: высвобождение численности персонала; экономия рабочего времени; прирост объемов производства (работ); прирост дохода (прибыли) на рубль затрат; экономия по отдельным статьям затрат в издержках производства (деятельности); фактический срок окупаемости инвестиций.

Таким образом, конкурентоспособность предприятия, результативность его производственно-хозяйственной деятельности, а также его место и значение в инновационной экономике определены уровнем сложившейся на нем организации труда. Лидирующее положение на рынке обеспечивают себе предприятия, использующие инновационный тип управления организацией труда, основанный на разработке и внедрении оргнововведений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антосенков Е. Нормирование труда – необходимый элемент эффективной организации производства. Оценка ситуации и возможные решения / Е. Антосенков // Человек и труд. 2007. № 10.
2. Брюханов Ю.А. Процесс формирования системы внутрифирменного обучения персонала / Ю.А. Брюханов, А.В. Карпов, И.М. Скитяева // Дополнительное профессиональное обучение. 2005. № 3.
3. Иванов Ю.В. Комплексный подход к оценке на предприятии / Ю.В. Иванов, С.В. Белова // Управление персоналом. 2005. № 3.
4. Лобаскова Н. Мотивация труда работников промышленных предприятий: рациональные пути / Н. Лобаскова // Проблемы теории и практики управления. 2009. № 5.
5. Пашин Н. Эффективный и безопасный труд возможен только на рабочем месте, условия труда которого отвечают всем конституционным требованиям и государственным нормативам / Н. Пашин // Человек и труд. 2007. № 11.
6. Попов А. Потребность экономики в специалистах и квалифицированных рабочих: методические основы прогнозирования / А. Попов // Человек и труд. 2004. № 6.
7. Родионов В.Н. Совершенствование рабочего места с применением методов бережливого производства / В.Н. Родионов // Экономические науки. 2009. № 1.
8. Тычинская Ж. Повышение квалификации персонала – оценка эффективности / Ж. Тычинская // Человек и труд. 2005. № 2.
9. Фильев В.И. Организация, нормирование и оплата труда: опыт зарубежных стран: Великобритания, Германии, Италии, США, Франции, Японии и др. / В.И. Фильев. М., 2000.
10. Фитц-енц Я. Рентабельность инвестиций в персонал: измерение экономической ценности персонала / Я. Фитц-енц. М.: Вершина, 2006.

**Подсумкова Людмила Алексеевна** –  
кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

**И.Н. Пчелинцева, Н.В. Алексеева**

**ФАКТОРЫ АКТИВИЗАЦИИ ИНВЕСТИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

*Представлены факторы активизации инвестирования социальной сферы машиностроительного предприятия. Рассмотрены проблемы машиностроительного предприятия на современном этапе развития рыночной экономики. Дано авторское представление места социальной сферы в машиностроительном предприятии.*

**I.N. Pchelintseva, N.V. Alekseeva**

**FACTORS OF ACTIVIZATION OF INVESTMENT OF SOCIAL SPHERE  
OF THE MACHINE-BUILDING ENTERPRISE**

*In clause are presented to I.N.Pchelintseva, N.V.Alekseeva factors of activization of investment of social sphere of the machine-building enterprise. Problems of the machine-building enterprise at the present stage of development of market economy are considered. Author's representation of a place of social sphere in the machine-building enterprise is presented.*

Изучение процесса социального инвестирования предприятий машиностроения в последнее время приобретает все большую актуальность. Особенно это актуально для современного российского общества, стоящего перед решением таких стратегических задач, как построение социально-ориентированной экономики и переход от индустриального к инновационному пути развития. В последнее время предприятия машиностроения добровольно стремятся к тому, чтобы расширить влияние на развитие общества. Предприятия машиностроения переходят от практики проведения спонтанных благотворительных акций и разовых социальных выплат к систематической политике социальных инвестиций. Практика свидетельствует, что наибольших темпов роста финансовых показателей достигают те предприятия, в долгосрочных планах развития которых социальные инвестиции занимают равное место наряду с инвестициями, ориентированными в производство. Поэтому объективной необходимостью развития социальной сферы машиностроительного предприятия является повышение производительности труда персонала предприятия.

На современном этапе развития рыночной экономики предприятия машиностроения оказались в наиболее трудном положении. Несмотря на высокую актуальность научных исследований как одного из главных факторов конкурентоспособности машиностроительного производства, современный уровень машиностроительного производства, его научно-техническая и производственная база не отвечают возрастающим требованиям экономического и социального развития страны. В общем охарактеризовать ситуацию в отрасли можно следующим образом: снижение производства, рост издержек, конкуренция со стороны иностранных производителей, периодический простой производства, монополизм государства. Реальная ситуация с инвестициями на этих предприятиях неоднозначна. В стране достаточно свободных средств, но мало инвестиционно привлекательных предприятий машиностроения с конкретными проработанными инвестиционными проектами. Кроме того, инвестиции, вложенные в машиностроение – это инвестиции с длительным сроком окупаемости. Поэтому предприятия машиностроения развиваются в основном за счет внутренних источников и государства. Не менее сложно обстоит ситуация и с инвестированием социальной сферы машиностроительных предприятий.

Для российской экономики понятие «социальные инвестиции» относительно новое. Наиболее полно, на наш взгляд, сущность социальных инвестиций с точки зрения машиностроительных предприятий отражена в следующем определении: «Социальные инвестиции представляют собой материальные, технологические, управленческие или иные ресурсы, а также финансовые средства компаний, которые направляются по решению руководства на реализацию социальных программ, разработанных с учетом интересов основных внутренних и внешних заинтересованных сторон в предположении, что в стратегическом отношении компанией будет получен определенный (хотя и не всегда просто измеряемый) социальный и экономический эффект» [1].

Другими словами, социальные инвестиции могут быть направлены в любой проект социальной сферы, реализация которого за счет инвестированных средств обеспечит определенный положительный эффект как инвестору (внутренние инвестиции), так и обществу (внешние инвестиции).

Инвестируемая социальная сфера машиностроительного предприятия определяется разнообразием объектов и субъектов инвестирования и системой отношений между ними. К объектам социальной сферы можно отнести: объекты здравоохранения, объекты охраны окружающей среды, спортивные сооружения, объекты культурного назначения, образовательные учреждения различных уровней, объекты садово-паркового хозяйства. Под субъектами социальной сферы понимают бизнес (в данном случае предприятие) и государство (рисунок).



Место социальной сферы в машиностроительном предприятии

Таким образом, под инвестированием социальной сферы машиностроительного предприятия, на наш взгляд, предполагается понимать процесс вложения в объекты социальной сферы, или, другими словами, это подразумевает инвестиционную активность субъекта, направленную на объекты его социальной сферы.

Однако, по нашему мнению, в России имеет место недопонимание целостной концепции, апробированной на практике, полезности и эффективности инвестирования социальной сферы машиностроительных предприятий. В связи с этим возникает множество проблем:

- противоречивая законодательная база, несогласованное с налоговым законодательством по социальной ответственности;
- отсутствие четких формулировок таких понятий, как социальные инвестиции, социальная ответственность, чтобы бизнес-структуры могли использовать их применительно к социальным программам;
- закрытость информации о внешнем и внутреннем социальном инвестировании предприятий;
- отсутствие учета социального инвестирования на предприятиях;
- отсутствие системы управления социальными инвестициями как на микроэкономическом, так и на макроэкономическом уровне.

Факторами активизации инвестирования социальной сферы машиностроительного предприятия являются, на наш взгляд, факторы внешней и внутренней среды, которые представлены в таблице.

## Факторы активизации инвестирования социальной сферы машиностроительного предприятия

		Признак	Факторы
По отношению к предприятию	Внешние	правовые	– законодательные акты, регулирующие социальную ответственность предприятий; – возможность предприятий реализовывать социальные программы на законодательной основе; – гарантии государства реализации законодательных норм и правил
		политические	– государственное регулирование социального инвестирования; – государственное стимулирование социального инвестирования; – налоговая политика государства; – инвестиционные институты; – уровень развития социальной сферы государства
		экономические	– наличие экономической свободы выбора у предприятия; – благоприятный инвестиционный климат; – обеспечение конкурентоспособности; – рыночная конъюнктура; – уровень развития банковской системы; – уровень развития рынка ценных бумаг; – инфляционные процессы
		социальные	– уровень социальной защищенности населения; – уровень жизни населения; – демографическая ситуация; – уровень безработицы
		культурные	– новые культурные традиции
		технологические	– научно-технический прогресс; – новые технологии
	Внутренние	экономические	– динамика выпуска продукции в натуральном и стоимостном выражении; – доля рынка
		финансовые	– рост прибыли; – рентабельность; – финансовая устойчивость предприятия; – затраты на производство и реализацию продукции; – коммерческая эффективность внедрения социального проекта
		трудовые	– рост производительности труда; – численность работающих; – средняя заработная плата; – демографическая структура персонала
		организационные	– организационная структура предприятия; – кадровая политика; – правовое обеспечение деятельности предприятия; – управление кадрами; – персонал предприятия
		производственные	– технология; – структура основных производственных фондов; – производственная мощность; – производственная программа
По степени воздействия на предприятие	Прямое воздействие (микросреда)	поставщики	– поставщики трудовых ресурсов; – поставщики материальных ресурсов; – поставщики информационных ресурсов; – поставщики финансовых ресурсов
		посредники	– торговые посредники; – фирмы по оказанию маркетинговых услуг; – кредитно-финансовые учреждения
		потребители	– потребительский рынок; – рынок производителей; – рынок государственных учреждений; – международный рынок
		конкуренты	– межотраслевая конкуренция
		контактные аудитории	– средства массовой информации; – население; – собственные служащие и работники предприятия



По степени воздействия на предприятие	Косвенное воздействие (макросреда)	Признак	Факторы
		экономические	– наличие экономической свободы выбора у предприятия; – благоприятный инвестиционный климат; – обеспечение конкурентоспособности; – рыночная конъюнктура; – уровень развития банковской системы; – уровень развития рынка ценных бумаг; – инфляционные процессы
		научно-технические	– научно-технический процесс; – новые технологии
		политические	– государственное регулирование социального инвестирования; – государственное стимулирование социального инвестирования; – налоговая политика государства; – инвестиционные институты; – уровень развития социальной сферы государства
		культурные	– новые культурные традиции

Предприятия машиностроения вовлечены в сложную систему взаимоотношений с факторами как внешней, так и внутренней среды. Предприятия выступают оновременно субъектами отношений, оказывая влияние на население, окружающую среду, экономическое положение региона и т.п., и объектами влияния со стороны государственных органов и общественных организаций.

В качестве дальнейшего развития системы управления инвестирования социальной сферы необходимо выработать ее структуру, а также методические подходы к ее функционированию. На наш взгляд, выработка теоретических и методических подходов к формированию системы управления инвестирования социальной сферы машиностроительных предприятий позволит оказать позитивное влияние на повышение эффективности их деятельности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад о социальных инвестициях в России за 2004 год. Роль бизнеса в общественном развитии / под общ. ред. С.Е. Литовченко. М.: Ассоциация менеджеров, 2004.
2. Лавров Н. Что такое «социальные инвестиции»? / Н. Лавров, Н. Кричевский // <http://www.arb.ru/publications/comments/1776.htm>.
3. Пчелинцева И.Н. Механизм социального инвестирования микроэкономических систем: монография / И.Н. Пчелинцева. Саратов: СГТУ, 2008. 164 с.
4. Марголин А.М. Инвестиционный анализ: учеб. пособие / А.М. Марголин, С.А. Семенов. М.: Изд-во РАГС, 1999. 320 с.
5. Корчагин Ю.А. Инвестиционная стратегия / Ю.А. Корчагин. Ростов н/Д.: Феникс, 2006. 316 с.
6. Стрижев С.А. Корпоративная социальная ответственность: состояние и перспективы / С.А. Стрижев. М.: Макс Пресс, 2006. 288 с.
7. Туркин С.В. Социальные инвестиции в бизнесе / С.В. Туркин. М., 2002. С. 37.
8. Шишкин С.В. Экономика социальной сферы / С.В. Шишкин. М.: ГУ ВШЭ, 2003. 367 с.

#### **Пчелинцева Ирина Николаевна –**

кандидат экономических наук,  
профессор кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Алексеева Наталья Владимировна –**

соискатель кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

**И.А. Рахманина**

## **ЛОГИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ**

*Рассматриваются вопросы формирования бизнес-процессов, последовательность проектирования. Автором обоснована необходимость рационального управления бизнес-процессами на основе логистической концепции.*

**I.A. Rakhmanina**

## **LOGISTIC FORMING OF BUSINESS-PROCESS**

*Logistic forming of business-process is looked trough the questions of forming of the business process, following of project of business-process. Necessary is explained rational management of business-process on logistic conception.*

Поступательное развитие научно-технического прогресса и ускоренные темпы внедрения инноваций в сферах производства и коммерции, совершенствование хозяйственных связей между предприятиями и организациями с целью получения ими дополнительных конкурентных преимуществ, продолжающаяся дифференциация продукции и услуг в связи с непрерывными изменениями потребностей рынка, возрастание требований к обеспечению благоприятных условий жизнедеятельности и сохранению окружающей среды и др. требуют рационального управления бизнес-процессами с использованием логистических концепций.

Без использования эффективной модели бизнес-процессов логистической системы, связывающей все области компетенций системы невозможно получить наибольший результат производственно-хозяйственной деятельности. Модель должна быть понятна всем участникам бизнес-процесса, чтобы служить основой интеграции его этапов. Использование логистического подхода позволит применить новые стратегические техники и эффективно интегрировать управленческие процессы логистической системы.

Существует множество определений бизнес-процесса, которые дополняют различными оттенками многогранное понятие «бизнес-процесс». Характерной особенностью ряда определений является технологический подход к определению бизнес-процесса (БП), а именно Э. Деминг отмечает, что БП – любые виды деятельности в работе организации; М. Робсон, Ф. Уллах считают, что БП – поток работы, переходящий от одного звена к другому. Многие авторы отмечают структурированность БП, необходимость определения его точных границ, целевую ориентацию на внешнего клиента, что, на наш взгляд, не учитывает потребности внутреннего клиента. В стандартах ИСО серии 9000 подчеркивается одно из основных свойств БП – целевая ориентация и необходимость количественной оценки результата БП. Ряд авторов акцентируют внимание на таком свойстве БП, как создание добавочной стоимости, подчеркивая, что БП-механизм наращивания стоимости и его технологический аспект при наличии входа и выхода.

Хотелось бы отметить, что выделяют три вида бизнес-процесса, которые взаимно дополняют друг друга: технологический, управленческий и экономический.

**Технологический БП** определяется как действие над ресурсами, систематическое последовательное исполнение операций без какой-либо целевой ориентации. Авторы такого подхода используют термин «бизнес-процесс» для обозначения различий между процессами, протекающими в социально-экономических и технических системах.

**Управленческий БП.** Главенствующая роль потребителя предполагает рассмотрение деятельности предприятия по-иному: процессы существуют для удовлетворения нужд людей и общества. Подчеркивается ориентированность бизнес-процессов на внешнего и внутреннего клиента.

**Экономический БП.** Авторы данного подхода к идентификационным признакам бизнес-процессов относят потребительную стоимость, наращивание стоимости, получение прибыли.

Однако бизнес-процессы имеют ряд классификаций. В зависимости от места бизнес-процессов в организационной структуре предприятия выделяют: горизонтальные процессы – процессы, отражающие взаимодействие по горизонтали; индивидуальные горизонтальные процессы – процессы, выполняемые отдельными организационными единицами (работниками); межфункциональные горизонтальные процессы – процессы, выполняемые многими организационными единицами (работниками); вертикальные процессы – процессы, отражающие взаимодействие организационных единиц по вертикали; интегрированные бизнес-процессы – процессы, отражающие взаимодействие участников процессов по вертикали и горизонтали.

Выделяют в зависимости от степени сложности следующие бизнес-процессы: монопроцессы – односложные процессы; вложенные процессы – монопроцессы, входящие в состав более сложного процесса (макропроцесса); связанные процессы – выделенные и последовательно реализуемые по определенному алгоритму монопроцессы.

В зависимости от предназначения выделяют следующие бизнес-процессы:

- основные бизнес-процессы – горизонтальные бизнес-процессы, обеспечивающие выполнение операционных задач, связанных с созданием продукта и его реализацией, влияющие на создание добавленной стоимости,
- поддерживающие бизнес-процессы – горизонтальные бизнес-процессы, обеспечивающие исполнение основных процессов,
- бизнес-процессы управления – вертикальные бизнес-процессы, обеспечивающие управление всей деятельностью логистической системы.

Бизнес-процессы можно классифицировать в зависимости от их места в иерархии целей организации:

- бизнес-процессы верхнего уровня – бизнес-процессы, направленные на реализацию стратегических целей логистической системы;
- бизнес-процессы среднего уровня – бизнес-процессы, направленные на реализацию тактических целей логистической системы;
- бизнес-процессы низового уровня – бизнес-процессы, направленные на реализацию оперативных целей логистической системы.

Классификация бизнес-процессов в зависимости от степени их детализации:

- макропроцессы – укрупненные бизнес-процессы, имеющие степень детализации, необходимую для описания бизнес-процессов верхнего уровня;
- субпроцессы – бизнес-процессы, имеющие степень детализации, необходимую для описания бизнес-процессов среднего уровня;
- микропроцессы – бизнес-процессы, имеющие предельно максимальную степень детализации, используются для описания бизнес-процессов нижнего уровня.

Следует отметить, что в рамках основных составляющих сбалансированной системы показателей бизнес-процессы можно классифицировать: финансовые бизнес-процессы; клиентские бизнес-процессы; производственные бизнес-процессы; бизнес-процессы развития, обучения и роста.

По охвату функциональных областей можно выделить следующие бизнес-процессы: управление финансами; управление персоналом; управление логистикой и др.

К основным элементам бизнес-процесса относятся операции, ресурсы (входы), продукция и услуги (выходы), владелец бизнес-процесса.

Следует отметить, что данные элементы могут изменяться во времени, т.е. характеристики продукта и услуги, параметры операций бизнес-процесса и состав ресурсов меняются в зависимости от состояния рынка.

Хотелось бы отметить, что А. Тяпухин сделал следующие выводы относительно формирования бизнес-процессов [1]:

- развитие экономики тесно связано с изменениями потребностей рынка. Исходя из этого, четко прослеживается тенденция нестабильности бизнес-процессов с течением времени;
- использование бизнес-процессов с операционным регулированием характерно для внутренних условий хозяйственной деятельности предприятия в ситуации, когда спрос на продукцию и услуги превышает уровень их предложения на рынке (рынке поставщика);
- изменяющиеся потребности рынка в первую очередь обуславливают внедрение бизнес-процессов с товарным регулированием, что свойственно внешним условиям деятельности предприятия;

– использование бизнес-процессов с ресурсным регулированием также характерно для внешних условий деятельности предприятия и связано с созданием долгосрочных договоренностей с поставщиками ресурсов в условиях рынка потребителя;

– между типами бизнес-процессов и основными концепциями управления предприятием в рыночных условиях можно установить определенное соответствие.

На рисунке представлена схема управления процессом, учитывающая взаимосвязь горизонтальных материальных потоков и ресурсов и вертикальных информационных потоков и управленческих взаимодействий.

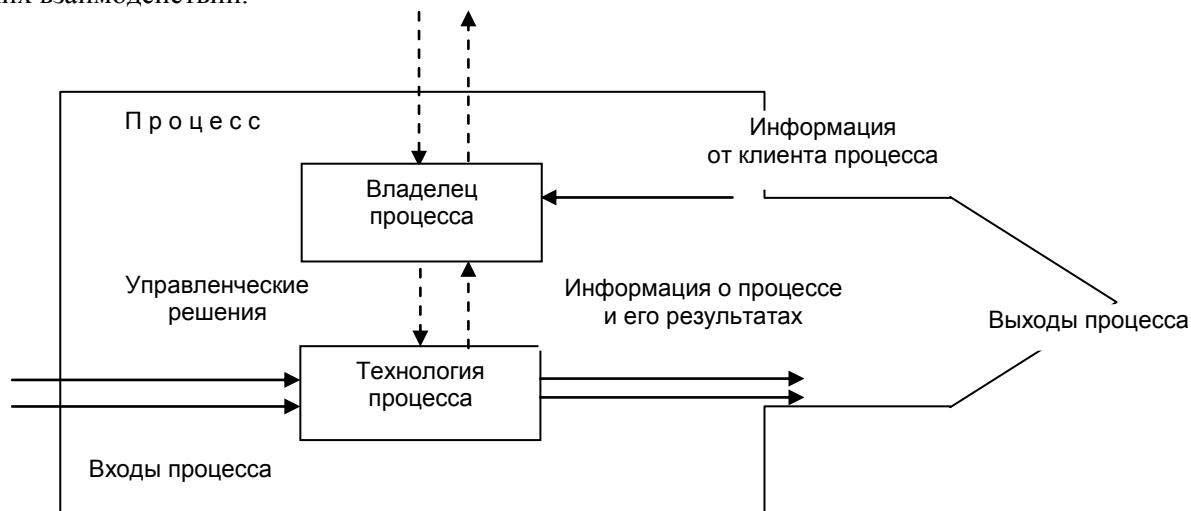


Схема управления процессом

Условные обозначения:

—————▶ Потоки продуктов, ресурсов

- - - - -▶ Потоки информации и управленческих решений

Однако бизнес-процесс состоит, как минимум, из двух фаз – технологической, в течение которой происходят изменения геометрических размеров, конфигурации и состава ресурсов (объектов незавершенного производства), и логистической, включающей транспортировку, складирование и хранение данных ресурсов, в том числе готовой продукции.

Данный аспект исследований требует одновременного учета характера изменений как технологической, так и логистической фазы бизнес процесса. Вначале в цикле «производственный менеджмент – маркетинг – логистика» приоритетной является технологическая фаза, т.е. вначале формируется и оптимизируется технология производства продукции и оказания услуг на самом предприятии, потом данная технология увязывается с технологией потребления (эксплуатации) продукции и далее с технологиями подготовки ресурсов для ее производства. Таким образом, речь идет о формировании и оптимизации технологических цепей, которые в определенный период времени обеспечивают необходимый уровень конкурентоспособности конечных продукции и услуг. Однако в дальнейшем данного преимущества оказывается недостаточно. С целью поддержания требуемого уровня конкурентоспособности хозяйствующим субъектам, входящим в технологические цепи, необходимо по той же схеме «производственный менеджмент – маркетинг – логистика» формировать и увязывать между собой логистические цепи [1].

Таким образом, необходимо разграничивать производственные и коммерческие технологии. При этом технологическая фаза бизнес-процессов связана с изменением количественных параметров и качественных характеристик объекта. Это может быть либо локально обособленный объект, либо совокупность данных объектов за счет их консолидации и разукрупнения. В первом случае речь идет о производственных технологиях, а во втором – о технологиях коммерческих.

Целесообразно определить варианты приоритетов использования технологической и логистической фаз бизнес-процесса в производственной и коммерческой сферах.

Анализ используемых в настоящее время российскими предприятиями бизнес-процессов показывает, что их, как правило, можно объединить в четыре типовых блока:

– блок начально-конечных операций (например, операции закупки сырья и сбыта готовой продукции, маркетинга, когда информация о характере реализуемой продукции служит основой для ее обновления или замены и др.);

– блок подготовительных работ (например, подготовка производства с ее основными фазами: научно-исследовательскими работами, конструкторской, технологической подготовкой производства и т.д.);

– блок основных производственных и коммерческих операций, непосредственно связанных с производством продукции и оказанием услуг;

– блок обеспечения материальными, финансовыми и т.д. ресурсами.

Представлена последовательность проектирования и формирования бизнес-процессов.

В условиях конкурентного рынка и ограниченности ресурсов логистическая система вынуждена делать стратегический выбор в пользу развития определенного набора ключевых компетенций для качественного управления. Логистическая система должна объединить свои ключевые активности в общий процесс управления бизнесом, на каждом этапе которого всякое подразделение выполняет свою роль. Такой подход позволяет устранить разрыв между первичными (создающими ценность) и поддерживающими (обслуживающими) процессами; обеспечить координацию стратегической деятельности подразделений логистической системы и, как следствие, взаимообусловленность отдельных бизнес-процессов.

Таким образом, для создания конкурентной стратегической позиции необходимо понять требуемые компетенции: навыки, способности, свойства и технологии, которыми должны обладать подразделения, сотрудники и логистическая система в целом, чтобы обеспечить необходимый уровень конкурентоспособности на рынке на каждом этапе бизнес-процесса. Для создания бизнес-компетенций логистической системе требуется решить задачи по модернизации внутренних систем и процессов, что позволит эффективно организовать стратегические процессы на логистической основе, повышая возможности конкурентоспособности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тяпухин А. Теоретические аспекты формирования бизнес-процессов / А. Тяпухин, А. Михайлов // Риск. 2007. № 1. С. 50-55.

2. Елиферов В.Г. Бизнес-процессы: Регламентация и управление: учебник / В.Г. Елиферов, В.В. Репин. М.: ИНФРА-М, 2008. 319 с.

**Рахманина Ирина Алексеевна** –

кандидат экономических наук,

доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении»

Саратовского государственного технического университета

УДК 33.

**О.А. Рыжова**

#### **ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ**

*За последние годы в мире сменялось несколько поколений корпоративных информационных систем: от МРП до ЕРП. Спрос на ЕРП-системы очень велик, они становятся необходимым атрибутом организации работы компании. Однако выбор даже подходящей для предприятия системы автоматизации может привести к значительным расходам.*

## EVOLUTION OF SYSTEMS OF PLANNING AND MANAGEMENT OF ACTIVITY OF THE ENTERPRISE AND FUTURE OF THEIR INTRODUCTION

*During the last years in the world some generations corporate information system: from MRP to ERP were replaced. Demand for ERP-systems is very great, they become necessary attribute of the organisation of work of the company. However the choice even system of automation approaching for the enterprise can lead to considerable expenses.*

Вопросам планирования и организации производства всегда уделялось большое внимание как в нашей стране, так и за рубежом. Это направление остается актуальным и в настоящее время, поскольку каждое предприятие заинтересовано в минимизации издержек, увеличении прибыли и сохранении своих конкурентных преимуществ.

Необходимо отметить, что за последние сорок лет в мире сменилось несколько поколений корпоративных информационных систем [1]. Они постоянно развивались и совершенствовались, стараясь гибко реагировать на все происходящие изменения в промышленном производстве. Рассмотрим эволюцию этих систем более подробно.

Первая из них называется МРП-система (MRP – Material Requirements Planning). Это система организации производства и материально-технического обеспечения, относящаяся к «толкающему» типу [2]. Ее создание совпало с массовым распространением вычислительной техники. Благодаря этой системе впервые стало возможным согласовывать и оперативно корректировать планы и действия снабженческих, производственных и сбытовых подразделений предприятия с учетом постоянных изменений в режиме on-line.

К основным достоинствам МРП-системы можно отнести: увеличение покупательского спроса и его удовлетворение; улучшение планирования запасов и расписания их движения; более быстрое возникновение реакции на рыночные изменения и сдвиги; снижение уровня запасов без снижения уровня обслуживания клиентов [3].

К недостаткам МРП-системы относятся: значительные затраты на подготовку первичных данных; повышенные требования к точности вводимых данных; отсутствие обратной связи; ориентированность системы в первую очередь на управление запасами не позволяет получать более полную информацию о других факторах производственного процесса [3]. Все перечисленные недостатки привели к необходимости совершенствования системы и разработке новой версии МРП-2 (MRP-2 – Manufacturing Resources Planning). Эта система включает функции системы МРП, а также ряд новых функций – автоматизированное проектирование, управление техпроцессами, прогнозирование, контроль за состоянием запасов и т.д. У системы МРП-2 более короткий срок окупаемости по сравнению с МРП, ее можно внедрить за более короткое время. МРП-2 получила широкое распространение в 1980-е годы. По данным проведенных в США исследований, применение МРП-2 позволяет сократить объем запасов (в среднем на 17% в стоимостном выражении), уменьшить затраты на закупку сырья (на 7%), повысить рентабельность производства [2].

В 90-е годы опять сменились стандарты, появилась новая система ЕРП (ERP – Enterprise Resources Planning), занимающаяся планированием ресурсов предприятия и предназначенная для автоматизации учета и управления. Как правило, ЕРП-системы строятся по модульному принципу и в той или иной степени охватывают все ключевые процессы деятельности компании. Используемый в ЕРП-системах программный инструментарий позволяет проводить производственное планирование, моделировать поток заказов и оценивать возможность их реализации в службах и подразделениях предприятия, увязывая его со сбытом.

В основе ЕРП-систем лежит принцип создания единого хранилища данных, содержащего всю корпоративную бизнес-информацию и обеспечивающего одновременный доступ к ней любого необходимого количества сотрудников предприятия, наделённых соответствующими полномочиями. Изменение данных производится через функции (функциональные возможности) системы. ЕРП-система состоит из следующих элементов:

- модель управления информационными потоками на предприятии;
- аппаратно-техническая база и средства коммуникаций;

- СУБД, системное и обеспечивающее программное обеспечение;
- набор программных продуктов, автоматизирующих управление информационными потоками;
- регламент использования и развития программных продуктов;
- IT-департамент и обеспечивающие службы;
- собственно пользователи программных продуктов.

К основным функциям ЕРП-систем можно отнести:

- ведение конструкторских и технологических спецификаций, определяющих состав производственных изделий, а также необходимые для их изготовления материальные ресурсы;
- формирование планов продаж и производства;
- планирование потребностей в материалах и комплектующих изделиях, сроков и объемов поставок для выполнения производственного плана;
- управление запасами и закупками;
- планирование производственных мощностей;
- оперативное управление финансами, включая составление финансового плана и осуществление контроля его исполнения, финансовый и управленческий учет;
- управление проектами, включая планирование этапов и ресурсов.

К основным достоинствам ЕРП-системы можно отнести: применение одной интегрированной программы вместо нескольких разрозненных; одновременное управление обработкой, логистикой, запасами, доставкой, оформлением счетов-фактур и бух. учетом; используемая система разграничения доступа к информации позволяет противостоять промышленному шпионажу и хищениям; возможно комплексное применение вместе с CRM-системой и системой контроля качества.

К недостаткам ЕРП-системы относятся: слабая поддержка со стороны руководителей предприятия; сопротивление отделов в предоставлении конфиденциальной информации; недостаточное инвестирование в подготовку персонала; внедрение системы является достаточно дорогостоящим, небольшие предприятия не могут позволить себе инвестировать необходимую сумму денег; совместимость с прежними системами; чрезмерная «уязвимость» системы из-за отклонений в работе отделов или партнеров.

Сейчас на рынке присутствует система ЕРП-2, включающая CRM-систему (Customer Relationships Management), управляющую взаимоотношениями с клиентами [1].

Необходимо отметить, что классические ЕРП-системы требуют достаточно длительной настройки для того, чтобы начать ими пользоваться. Выбор ЕРП-системы, приобретение и внедрение требуют тщательного планирования в рамках длительного проекта с участием партнерской компании – поставщика или консультанта. Например, средние сроки проекта внедрения ЕРП-системы Oracle JD при традиционном подходе могут составлять от 6 до 18 месяцев. Возможно сокращать сроки внедрения за счет привлечения большого количества консультантов за дополнительную плату, но этот вариант не всегда приемлем.

Так как ЕРП-системы строятся по модульному принципу, заказчик может приобрести не все модули, а их ограниченный комплект. Многие корпорации просто автоматизируют с помощью SAP не все бизнес-процессы. Так, российское подразделение Samsung работает на SAP, однако бухгалтерские расчеты выполняет с помощью одной из версий «1С».

В настоящее время существует устойчивый спрос на ЕРП-системы, которые превратились в необходимый атрибут организации работы компании. Однако выбор даже идеально подходящей для фирмы системы автоматизации может обернуться для предприятия непредвиденными расходами. Необходимо подбирать систему с учетом специфики деятельности и размера предприятия, а также учитывать кадровый ограничитель, который сразу может значительно увеличить расходы на ее эксплуатацию, так как зарплаты специалистов в этой области очень высоки. К сожалению, количество специалистов, в частности, по направлению внедрения ЕРП-систем, растет медленнее, чем рынок самих систем. Для подготовки специалиста необходимо прохождение как минимум одного проекта по внедрению системы, а это в среднем занимает по продолжительности год.

Эксперты считают, что в ближайшие несколько лет сохранится высокий уровень окладов у специалистов, настраивающих SAP, являющуюся на данный момент наиболее популярной из ЕРП-систем. Но как только произойдет активное внедрение этой системы, так и произойдет значительное снижение зарплаты специалистов.

Таким образом, любому руководителю предприятия или предпринимателю следует помнить, что решение о приобретении новой «продвинутой» версии ЕРП-системы должно быть тщательно продуманным и обоснованным

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Печников А. Кадровая реакция / А. Печников // Компания. 2008. № 5 (498). С. 60-62.
2. Родников А.Н. Логистика: терминологический словарь / А.Н. Родников. М.: Экономика, 1995. 251 с.
3. Козловский В.А. Логистический менеджмент: учеб. пособие / В.А. Козловский, Э.А. Козловская, Н.Т. Савруков. СПб.: Лань, 2002. 272с.

**Рыжова Ольга Александровна** –  
ассистент кафедры «Менеджмент, коммерция и право»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 331.101

**Л.В. Санкова, А.С. Есипов**

### **НОВЫЕ ФОРМЫ ТРУДОВЫХ ОТНОШЕНИЙ В РОССИИ**

*Рассматриваются проблемы развития новых форм трудовых отношений на российском рынке труда.*

**L.V. Sankova, A.S. Esipov**

### **NEW TYPES OF LABOUR RELATIONS IN RUSSIA**

*The article is dedicated for development of new types of labour relations in Russian's labour market.*

Современный мир меняется стремительно. Успех любой компании, впрочем, как и любого государства, зависит от способности быстро и эффективно адаптироваться к изменяющимся условиям, что требует развития форм трудовых отношений по пути большей флексибилизации. Процесс формирования нового типа трудовых отношений как общемировая тенденция начался и в России, но пока он носит фрагментарный, стихийный характер, испытывает серьезное влияние кризисных явлений в экономике.

В последние годы широкое распространение получают такие новые формы трудовых отношений, как заемный труд<sup>1</sup> (агентская занятость), дистанционная занятость и др. Развитие заемного труда сегодня является, пожалуй, самой дискуссионной проблемой в академических и профсоюзных кругах. По данным МОТ, в 15 странах ЕС 1,4 млн. человек трудятся в качестве заемных работников. Начиная с 1992 г. сектор заёмного труда демонстрировал высокую динамику развития во многих европейских странах (в Дании, Испании, Италии и Швеции, Австрии). Суть данной формы трудовых отношений заключается в следующем: специализированная коммерческая фирма (зачастую частное агентство занятости) нанимает в свой штат работников, временных или постоянных, исключительно для выполнения заказов на услуги этих работников.

---

<sup>1</sup> Концепция заемного труда первоначально возникла и получила распространение в шестидесятые-семидесятые годы XX в. в США в связи с особенностями федерального налогового законодательства, согласно которому компании при помощи технологии лизинга персонала могли использовать более выгодные схемы пенсионного страхования, в первую очередь для своих топ-менеджеров.



На примере модели заемного труда можно констатировать, что появление новых форм занятости, повышение гибкости социально-трудовых отношений сопровождается трансформацией двусторонней модели трудовых отношений «работник – работодатель» в трехстороннюю «работник – агентство – организация – пользователь», появлением новых преимуществ и новых *рисков* для каждой из сторон.

Согласно данным рекрутинговых агентств России, начиная с 2001 г. спрос на заемных работников вырос приблизительно на 50-70%. Если на раннем этапе отечественный рынок заемного труда формировался в основном за счет деятельности компаний с участием иностранного капитала, то в современных условиях эту форму занятости активно осваивают и отечественные организации (как малые предприятия, так и крупные промышленные холдинги). Наибольшее распространение новая форма занятости получила в производственных отраслях (автомобилестроение, фармацевтика), торговле, строительстве, банковской деятельности, ИТ-секторе.

Несмотря на распространение данной формы трудовых отношений, действующее трудовое законодательство РФ не содержит каких-либо норм и положений о заемном труде. В государственных и юридических кругах дискуссии на тему легализации заемного труда не прекращаются. Подготовлен даже проект закона о заемном труде. Пока в России данная форма трудовых отношений регулируется нормами не трудового, а гражданского и налогового права. Каждый из трех участников агентской занятости вступает в отношения с двумя другими, но законодательно регулируются у нас только отношения между агентством занятости и предприятием-клиентом.

В таблице мы представили преимущества и недостатки модели заемного труда с позиций работников и работодателей.

Заемный труд: преимущества работников и работодателей

Работник	Организация-пользователь услуг труда
<b>ПРЕИМУЩЕСТВА</b>	
1) наличие оплачиваемой занятости; 2) возможность получения опыта работы / постоянного рабочего места; 3) возможность индивидуального графика работы; 4) непрерывный стаж по специальности; 5) перекладывание издержек поиска работы на агентство; 6) перекладывание «издержек» трудового спора / конфликта на агентство	1) быстрая замена отсутствующих по той или иной причине работников; 2) обеспечение количественной гибкости рабочей силы в соответствии с колебаниями спроса; 3) оптимизация затрат на персонал; 4) обеспечение кадрами для оперативного выполнения срочных производственных задач; 5) снижение риска некачественной работы кадровой службы; 6) стабильность занятости инсайдеров; 7) снижение налоговой нагрузки.
<b>НЕДОСТАТКИ</b>	
1) меньшая защищенность трудовых и социальных прав; 2) нестабильность занятости, недонакопление человеческого капитала; 3) более низкий уровень дохода; 4) отсутствие элементов компенсационного пакета; 5) большой профессиональный риск; 6) участие в коллективно-договорном регулировании трудовых отношений существенно сужается/исключается.	1) отсутствие законной возможности влиять на качество работы или дисциплину; 2) недостаток специфического человеческого капитала; 3) низкая лояльность персонала.

Одной из наиболее ярких новых форм трудовых отношений в современной экономике стала дистанционная занятость, которая, в свою очередь, представляется как весьма разнородное образование, но чаще всего ассоциирующаяся с телеработой. В Европе их число уже превысило 70 млн. человек, что составляет 8,3% от всех работников в этом регионе. А по прогнозам экспертов, к 2010 году в Европе уже почти 100 млн. человек будут работать удаленно. В России рынок удаленной работы развит пока достаточно слабо, но темпы роста в нашей интернет-пользователей (на 2008 год более 40 млн. человек) стране говорят и о будущей популярности дистанционной формы занятости весьма очевидно. Все большее количество компаний сегодня идут на уступки в отношении посещаемости основного места работы для своих сотрудников. И, соответственно, все больше людей получают воз-

возможность выполнять свои прямые обязанности дома. К категории дистанционных работников сегодня можно отнести многих журналистов, IT-специалистов, дизайнеров, репетиторов, трейдеров. Достоинства этой формы организации труда очевидны (сокращение издержек работодателя на аренду помещений и организацию рабочих мест; существенная экономия времени, средств работника вследствие отсутствия транспортных проблем; рост производительности труда при его организации в соответствии с индивидуальными запросами индивида и т.д.). Возможности дистанционной формы трудовых отношений способствуют повышению деловой активности и занятости населения в связи с расширением «пространства» занятости за счет включения ряда социально не защищенных категорий населения. Дистанционные формы трудовых отношений характеризуются не только своими каналами найма, мобильности, институтами, специфическими характеристиками работников и рабочих мест, но и сигналами на рынке труда (предыдущие проекты, репутация и др.).

Характер отношений между субъектами рынка труда при дистанционной занятости зависит от способа оформления отношений между ними. На практике встречаются три формы договора между работником и работодателем:

1. Традиционный трудовой договор.
2. Договор подряда, возмездного оказания услуг или иной договор гражданско-правового характера.
3. «Виртуальное» соглашение. При такой договоренности взаимодействие работодателя и работника происходит в неправовом поле, что сопряжено с высокими рисками для работников и работодателей. На практике достаточно часто используется данная форма соглашения.

Одним из актуальных направлений современного рынка труда является аутплейсмент. Он реализуется сразу по нескольким направлениям, позволяющим увольняемому работнику быстро трудоустроиться. Прежде всего, это консультирование сокращаемого сотрудника о состоянии рынка труда и справедливая оценка «места» сотрудника на этом рынке, обучение навыкам и инструментам эффективного поиска работы, помощь в составлении плана трудоустройства и карьеры, возможная профессиональная переориентация. Также это и продвижение сотрудника на рынке труда через ресурсы, контакты и связи организации, проводящей данную программу. В развитых зарубежных странах аутплейсмент используется уже более 30 лет. Во многих корпорациях эта процедура предусмотрена коллективными договорами как обязательная в случае проведения сокращений. В России эта услуга появилась после кризиса 1998 г., но, несмотря на высокий потенциал использования, не получила широкого распространения, хотя в условиях кризиса существенно растет спрос на данный вид услуг (причем не только иностранных компаний). По исследованиям, около 80% компаний, прибегающих к услуге, – иностранные корпорации, 20% – российские компании. «Индивидуальные» программы уступают место массовым.

Таким образом, новые формы трудовых отношений позволяют решить целый ряд проблем: обеспечить возможности лучшей реаллокации трудовых ресурсов и рабочих мест; осуществить работнику осознанный выбор «места» и «времени» работы на рынке труда, более рационально распределить свой «портфель времени» между различными видами деятельности, обеспечивающий ему более высокий уровень «полезности»; ослабить влияние макроэкономических шоков; снизить издержки работодателя на труд, повысить конкурентоспособность бизнеса; сохранить имеющиеся и создать новые рабочие места; предотвратить социально-экономическую эксклюзию целых групп населения (менее конкурентоспособных на рынке труда).

Таким образом, для общества новые формы трудовых отношений – это прежде всего сокращение безработицы, повышение уровня занятости населения, рост ВВП, снижение уровня бедности и в целом – возможность повышения уровня развития человеческого потенциала. Выгоды новых форм трудовых отношений для общества состоят в повышении мобильности рабочей силы, ускорении ее перетока между безработицей и занятостью, сокращении общей и структурной безработицы. В настоящее время эти выгоды приобретают особую актуальность в связи с кризисными явлениями в экономике и сокращением спроса на труд.

Нестандартные формы трудовых отношений между работниками и работодателями, как показывает практика, позволяют с одной стороны, решить ряд социально-экономических проблем, но, с другой стороны, несут в себе целый ряд потенциальных и реальных рисков для двух сторон. Поэтому необходимо эффективное и своевременное правовое регулирование новейших форм трудовых отношений в России и последующий контроль соблюдения трудового законодательства

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гимпельсон В. Нестандартная занятость и российский рынок труда / В. Гимпельсон. Препринт WP3/2005/05. М.: ГУ ВШЭ, 2005. 36 с.
2. Смирных Л.И. Заемный труд: экономическая теория, опыт стран ЕС и России / Л.И. Смирных. М.: РЕЦЭП, 2005. 61 с.
3. Козина И.М. Заемный труд: социальные аспекты / И.М. Козина // Социологические исследования. 2008. № 11. С. 3-12.
4. [http://www.expert.ru/qa\\_bondareva](http://www.expert.ru/qa_bondareva)
5. <http://www.hr-zone.net/node/2686>

**Санкова Лариса Викторовна –**

доктор экономических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Экономическая теория и учения»  
Саратовского государственного технического университета

**Есипов Андрей Сергеевич –**

аспирант кафедры «Экономическая теория и учения»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 33

**Л.О. Сердюкова****ПРОБЛЕМЫ КАПИТАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

*Рассмотрены концепции интеллектуального капитала, состояние и факторы роста капитализации объектов интеллектуальной собственности, обоснована необходимость перехода к новой концепции в определении интеллектуального капитала*

**L.O. Serdukova****PROBLEMS CAPITALIZATION OF OBJECTS OF INTELLECTUAL PROPERTY**

*We consider the concept of intellectual capital, state and growth factors, the capitalization of intellectual property, the necessity of transition to a new concept in the definition of intellectual capital*

Объекты интеллектуальной собственности являются важнейшей составной частью инноваций и интеллектуального капитала. В течение последних двух десятилетий произошел настоящий прорыв в ключевых областях науки и техники, включая информационные технологии, СМИ и коммуникации. В результате мы приобрели новые инструменты формирования мировой экономики, многие из которых несут в себе нематериальные преимущества, никогда не существовавшие ранее. Компании не могут более без них функционировать; их наличие обеспечивает конкурентные преимущества, и поэтому справедливо считать их активами. Интеллектуальный капитал, таким образом, стал обозначать нематериальные активы, без которых компания теперь не может существовать, создавать и увеличивать стоимость. Нематериальные активы, способные создавать и увеличивать стоимость, образуют интеллектуальный капитал. При этом важно помнить, что интеллектуальный капитал предприятия подразделяется на четыре части:

– **рыночные активы** – потенциал, который обеспечивается нематериальными активами, связанными с рыночными операциями. Значимость рыночных активов заключается в том, что они обеспечивают компании конкурентное преимущество во внешней среде;

– **интеллектуальная собственность** как актив включает ноу-хау, торговые секреты, патенты и различные авторские права, торговые марки товаров и услуг. Интеллектуальная собственность представляет собой узаконенный инструмент для защиты различных корпоративных активов;

– **человеческие активы** представляют собой совокупность коллективных знаний сотрудников предприятия, их творческих способностей, умения решать проблемы, лидерских качеств, предпринимательских и управленческих навыков. Необходимо рассматривать человека не просто как инструмент для выполнения определенной работы, но как изменяющуюся самодостаточную систему, способную с течением времени осваивать разнообразные виды работ, создавать и увеличивать стоимость. В отличие от рыночных, интеллектуальных и инфраструктурных активов человеческие активы не принадлежат компании. Из этого должно следовать особое к ним отношение, но, к сожалению, это не всегда так;

– **инфраструктурные активы** – технологии, методы и процессы, которые делают работу предприятия вообще возможной. Они формируют среду, в которой сотрудники предприятия работают и общаются друг с другом. Однако не следует относиться к инфраструктурным активам как к чему-то раз и навсегда данному. Они, вне сомнения, подлежат корректировке и приспособлению к рыночной и внутриорганизационной ситуации. Предприятия, не пересматривающие регулярно значимость и эффективность своих инфраструктурных активов, быстро теряют преимущества, которые позволяли им быть на рынке ведущими [1].

Это образует первую концепцию интеллектуального капитала, по которой интеллектуальный капитал помогает капитализировать материальные активы и только через материальные активы косвенно становится капиталом.

Всего лишь сто лет назад труд оценивался дешево. Ценность предприятия определялась производственными корпусами, оборудованием и наличными деньгами. В новом тысячелетии труд будет стоить значительно дороже. Человеческие активы, столь необходимые компании для функционирования, станут редким и дорогостоящим товаром. На создание стоящих рыночных, инфраструктурных и интеллектуальных активов будут уходить годы и годы. Многим компаниям, в особенности предоставляющим услуги, для функционирования не требуется большого количества материальных активов. Компьютеры, коммуникации и знания – вот что лежит в основе компании нового тысячелетия.

Совместное использование объектов интеллектуальной собственности с рыночными активами, человеческими активами и с инфраструктурными активами способно дать наибольшее увеличение стоимости всего интеллектуального капитала организации или компании.

Для введения объектов интеллектуальной собственности (ОИС) в хозяйственный оборот необходимы:

- оценка рыночной стоимости этих объектов интеллектуальной собственности;
- учет и анализ объектов интеллектуальной собственности в структуре активов предприятия;
- правовая поддержка капитализации интеллектуальной собственности;
- снижение рисков финансовых потерь, связанных с использованием объектов интеллектуальной собственности в процессе хозяйственной деятельности предприятий.

Не вызывает сомнения необходимость учета рисков при оценке стоимости ОИС, поскольку внедрение результатов интеллектуальной деятельности связано с целым «букетом» рисков внешних (связанных с окружающей рыночной средой) и внутренних (присущих только данному проекту).

Значительно выше риск по проектам с незавершенной стадией внедрения или даже опытно-конструкторских работ, ориентированных на продвижение нового продукта или технологии. При разработке и реализации таких проектов многие решения приходится принимать на интуитивном уровне, так как в большинстве случаев необходимая информация отсутствует. Например, для подобных проектов очень непросто разработать маркетинговую концепцию: довольно вероятны ошибки при прогнозировании объемов спроса, возможностей сбыта, позиционировании товара на рынке, установлении цены.

Успехи капитализации объектов интеллектуальной собственности показательны на примере целой индустрии интеллектуального права в США. Все виды индустрии интеллектуального права обеспечивают в год примерно около 6% всей добавленной стоимости в ВВП страны.

В этом плане индустрия интеллектуального права вкладывает в экономику США больше, чем любой отдельный сектор обрабатывающей промышленности, включая производство самолетов и их запасных частей, первичных металлов, изделий из металла, электронного оборудования, пищевых и родственных продуктов, химических и смежных продуктов.

Индустрия интеллектуального права создает рабочие места гораздо быстрее, чем многие ведущие секторы экономики. Ныне в США в индустрии интеллектуального права занято работников больше, чем в таких отраслях, как авиастроение, автомобильная, сталелитейная, фармацевтическая, текстильная и др.

В сфере индустрии интеллектуального права «крутятся» гигантские деньги. С развитием информационных и других высоких технологий эта тенденция будет нарастать. Именно поэтому США уже сегодня предпринимают самые жесткие меры для подавления пиратства как у себя в стране, так и за рубежом. Правительство США готово пойти даже на разрыв торгово-промышленных отношений с теми странами, где не принимаются необходимые меры против пиратского использования продукции индустрии интеллектуального права.

Состояние капитализации объектов интеллектуального права в Российской Федерации и Саратовской области показывают следующие данные:

– в структуре инвестиций в нефинансовые активы инвестиции в нематериальные активы незначительно выросли в процентах к итогу с 1 до 1,5% за 1998-2000 гг., а потом снизились с 1,5 до 0,4% за 2000-2004 гг., за 2004-2005 гг. выросли с 0,4 до 0,8%, а потом опять снизились с 0,8 до 0,6%. Это подтверждает наличие инвестиционного кризиса в отношении вложений в нематериальные активы, а именно длительную стагнацию с 2002 до 2006 гг. [2];

– по затратам на технологические инновации по видам деятельности в Саратовской области в 2004 г. приобретение программных средств было чуть ли не на последнем месте (0,3% в общем объеме затрат на технологические инновации), а на первом месте – приобретение машин и оборудования, связанное с технологическими инновациями (57,1% в общем объеме затрат на технологические инновации) [3]. Последнее предопределяет доминирование капитализации материальных активов над капитализацией нематериальных активов, что сдерживает использование радикальных инноваций, но не сдерживает улучшающие инновации и псевдоновации;

– доминирование капитализации материальных активов над капитализацией нематериальных активов в Саратовской области обусловлено факторами, препятствующими радикальным инновациям, среди которых основными или решающими являются – недостаток собственных средств, высокая стоимость нововведений и недостаток финансовой поддержки со стороны государства.

Мировой рынок и обострение конкуренции в сфере высоких технологий заставит переходить от **первой концепции интеллектуального капитала**, по которой нематериальные активы только через материальные активы косвенно становятся капиталом, ко **второй концепции интеллектуального капитала**, по которой нематериальные активы независимо от материальных активов напрямую становятся капиталом, так как именно ими усиливаются конкурентные преимущества бизнеса компании.

Интеллектуальная собственность и бизнес – это основа инновационного предпринимательства и инновационного пути развития страны. Использование объектов интеллектуальной собственности в хозяйственном обороте интеллектуализирует бизнес и политику, формирует новый средний класс.

Без стратегического партнерства государства, частного бизнеса и науки невозможно эффективное использование объектов интеллектуальной собственности как капитала в рамках инновационного экономического развития.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Брукинг Э. Интеллектуальный капитал: пер. с англ. / Э. Брукинг. СПб.: Питер, 2001. С. 31, 37-39, 68.
2. Российский статистический ежегодник. 2007. С. 705.
3. Саратовская область в цифрах. 2005. С. 246.

**Сердюкова Лариса Олеговна** –

кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой «Менеджмент, коммерция и право», заместитель директора Института социального и производственного менеджмента Саратовского государственного технического университета

**Л.В. Славнецкова**

## **ФОРМИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

*Отмечается, что важным фактором развития российской экономики является формирование региональных инновационных систем. Для построения региональных инновационных систем необходима совместная деятельность федеральных и региональных органов власти, совершенствования территориальной структуры, сохранения и рационального использования научного и инновационного потенциала страны.*

**L.V. Slavnetskova**

## **FORMATION REGIONAL INNOVATIVE SYSTEM**

*The important factors of innovative development of the Russian economy are the formation of Regional innovative systems. The article describes the importance of joint activities of Federal and Regional authorities for the construction of Regional innovative systems, territorial structures, and conservation and rational use of scientific and innovative potential for the country.*

В современном мире конкурентоспособность национальных экономик во многом зависит от возможности организовывать и осуществлять поток инновационных проектов, поток постоянных улучшений в национальном, региональном и отраслевом аспектах.

Получение новых знаний технологий совместно с их эффективным освоением и применением в решающей мере определяет роль и место страны в мировом сообществе, уровень жизни народа и уровень обеспечения национальной безопасности.

Мировой опыт выработал некоторые формы реализации инновационной модели развития. Одной из востребованных форм является создание национальных инновационных систем.

Инновационные системы подразделяют на следующие уровни: наднациональные инновационные системы; национальные инновационные системы; региональные; отраслевые или кластерные; инновационные системы предприятия.

Для России с ее федеральным устройством и чрезвычайной дифференциацией регионов по уровню инновационного потенциала наиболее перспективным представляется подход, при котором национальная инновационная система (НИС) рассматривается как метасистема, подсистемами которой являются региональные инновационные системы (РИС).

Наиболее исследованными являются макро- и микроуровни инновационных систем (ИС), то есть уровни НИС и инновационной системы отдельного предприятия. Поэтому наибольший интерес представляют исследования мезоуровня – РИС.

Под региональной инновационной системой (РИС) понимается комплекс учреждений и организаций различных форм собственности, находящихся на территории региона и осуществляющих создание и распространение новых технологий, а также организационно-правовые условия их хозяйствования, определенные совокупным влиянием государственной научной и инновационной политики, региональной политики, проводимой на федеральном уровне и социально-экономической политики региона.

Деятельность региональных органов власти, направленная на создание региональной инновационной системы, рассматривается как комплекс взаимосвязанных мероприятий по отбору наиболее перспективных научных направлений с учетом целей и задач объекта управления, а также как создание финансовых, материальных, идеологических, правовых и иных условий для осуществления эффективной инновационной деятельности. Выбор приоритетов и распределение ресурсов, безусловно, предполагают реализацию принципа селективного подхода при планировании и организации экономически, социальных, правовых условий реализации инновационного процесса в регионе.

В этом контексте при определении категории региональной инновационной системы естественен акцент на взаимодействие организаций, генерирующих и передающих знания с организациями, использующими результаты научно-технической деятельности и реализующими продукцию на региональном рынке и за его пределами.

Такой взгляд на РИС вытекает из позиционирования регионов как элементов общенациональной экономической системы. Региональная политика во всех странах ставит своей основной задачей ликвидацию территориальных неравенств, обеспечение равных возможностей жителям разных территорий. Создание региональных инновационных систем не требует обязательного выравнивания показателей научно-технического развития по всем территориям. Вопрос ставится иначе – использовать преимущества каждого региона, не стремясь к абсолютному равенству научно-технического развития. Как элемент социально-экономического развития региона региональная инновационная система является инструментом повышения конкурентоспособности производителей данного региона, обеспечивает занятость наиболее квалифицированной части населения, содействует повышению общего образовательного уровня населения, что уже само по себе имеет далеко идущие социальные последствия.

В деятельности РИС доминирующе место занимает создание региональной инновационной инфраструктуры. В общем виде региональную инновационную инфраструктуру можно представить следующим образом (см. табл.)

Состав региональной инновационной инфраструктуры [2]

Производственно-технологическая	Экспертно-консалтинговая	Финансовая	Нормативно-правовая	Кадровая	Информационная	Сбытовая
ИТЦ и технопарки	Центры трансфера технологий	Бюджетные средства	ФЗ	Повышение квалификации в инновац. сфере	Гос. система научно-тех. информации	Внешне-торговые объединения
ИПК	Консалтинг в сфере экономики, финансов	Бюджетные и внебюджетные фонды технолог. развития	Региональные законы	Подготовка специалистов по управлению инновациями	Ресурсы структур поддержки малого бизнеса	Специал. посреднич. фирмы
Технол. кластеры	Технологич. консалтинг	Венчурные фонды	Нормативные акты, правила, положения	-	Региональные информационные сети	Интернет
Производственно-технологическая	Экспертно-консалтинговая	Финансовая	Нормативно-правовая	Кадровая	Информационная	Сбытовая
Технико-внедренч. зоны	Маркетинг консалтинг	Посевные и стартовые фонды	-	-	Интернет	Выставки
Бизнес-инкубаторы	Консалтинг в области ВЭД	Гарантийн. структуры и фонды	-	-	-	-

Неравномерность распределения научно-технического и инновационного потенциала по территории страны предполагает существование различий при формировании региональных инновационных систем в регионах с разным уровнем экономического и научно-технического развития. Целесообразно рассмотреть классификацию регионов для целей формирования подходов к созданию РИС, адекватных возможностям и потребностям регионов.

**Характер отраслевой специализации.** Регионы с преобладанием сырьевых отраслей, проявляя инновационную активность, совершенствуют добычу и первичную переработку добываемых природных ресурсов, при этом не увеличивается производство наукоемкой высокотехнологичной продукции. Предприятия сырьевых регионов обладают относительно большими финансовыми возможностями для финансирования инновационной деятельности за счет собственных источников. Их стратегическое положение в формировании государственного бюджета за счет экспорта ресурсов

предопределяет значительное влияние федеральных органов власти. Эффективное функционирование региональной инновационной системы в таких регионах зависит от совместных усилий региональных и федеральных органов управления по созданию условий, способствующих инновационной активности предприятий, созданию перерабатывающих производств, способных изменить структуру экспорта страны. Региональная инновационная система сырьевых регионов должна работать на увеличение доли добавленной стоимости в общем объеме производства отраслей специализации региона, за счет внедрения новых технологий.

Регионы с явно выраженной специализацией обладают возможностью осуществления полного инновационного цикла в соответствующей отрасли. Региональные цели в этом случае наиболее полно совпадают с национальными интересами инновационного развития отдельной отрасли экономики. Инновационная система такого региона в равной мере включает как элементы среды, генерирующей знания (отраслевой исследовательский институт, высшее учебное заведение по подготовке специалистов отрасли), так и среды, использующей результаты научно-технической деятельности в производственном секторе (предприятия отрасли, внедряющие инновационные мероприятия). Инновационная инфраструктура в таком регионе также носит выраженный отраслевой характер. Важное место в инфраструктуре моноспециализированного региона занимает система взаимодействия и кооперации между институтом, вузом и предприятиями. Эффективность этого взаимодействия в значительной мере обеспечивает экономическое развитие региона. Для регионов с высоким уровнем диверсификации производства на первом месте стоит вопрос определения приоритетов. Региональные инновационные системы обладают наиболее разветвленной структурой. Очевидно, что ресурсов даже самого большого региона не хватает на развитие научно-технического потенциала всех отраслей на всех стадиях инновационного процесса. Генеральной стратегией региональных инновационных систем в этом случае должно стать создание эффективной системы аутсорсинга на основе межрегиональных и международных связей. Инновационная инфраструктура таких регионов направлена на взаимодействие с другими регионами, поиск зарубежных партнеров, инициирование государственных программ на федеральном уровне с привлечением организаций и специалистов в разных областях науки и техники.

Необходимо выделить цели инновационной деятельности для различных регионов. Внешние цели инновационной деятельности характерны для регионов с развитым научно-техническим потенциалом, имеющим федеральное значение.

В регионах с преобладанием внешних целей доминирующую роль играют федеральные органы управления. Роль РИС заключается в использовании результатов деятельности научных центров федерального уровня в интересах региона. В первую очередь это относится к образованию элементов инновационной инфраструктуры, способствующей трансферу технологий и созданию кластеров высокотехнологичных малых предприятий, образуемых в ассоциации с существующими научными центрами. Таким образом, дополнительное финансирование федеральных научных центров будет способствовать занятости высококвалифицированных специалистов региона и содействовать переходу экономики региона на инновационный путь развития.

Регионы с преобладанием внутренних целей инновационного развития не играют доминирующей роли в региональном разделении труда в научно-технической сфере.

Инновационное развитие экономики этих регионов обеспечивает повышение технического уровня производства в базовых отраслях регионального хозяйственного комплекса.

В регионах, где роль федерального центра не является доминирующей, значительно возрастает значение региональных органов управления региональной инновационной системой. Если в первом случае, региональные приоритеты, главным образом, определяются федеральными органами управления научно-техническим развитием, то в случае ориентации на внутренние цели развития определение приоритетов регионального научно-технического развития становится задачей региональных органов управления. При этом акцент делается на завершающих этапах инновационного цикла, т.е. на внедрении разработанных в других регионах или даже в других странах, технологий и продуктов. Создаваемая инновационная инфраструктура нацелена на поиск таких технологий, конкурсный отбор предложений и адаптацию к местным условиям.

Очевидно, что регионы, которые к настоящему времени имеют законодательную базу и организационную структуру инновационной деятельности в регионе находятся в лучших стартовых условиях, по сравнению с теми регионами, где управление этой сферой осуществляется бессистемно, от случая к случаю.



Таким образом, при всем многообразии региональных особенностей региональная инновационная система должна строиться на системе базовых принципов, применимых к РИС любого региона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Голиченко О.Г. Национальная инновационная система России: состояние и пути развития / О.Г. Голиченко. М.: Наука, 2006.
2. Технологии и механизмы организации инновационной деятельности. Обзор и проблемно-ориентированные решения / сост.: В.И. Аблязов, В.А. Богомолов, А.В. Сурина, И.Л. Туккель; под общ. ред. проф. И.Л. Туккеля. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 215 с.

**Славнецкова Людмила Владимировна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении» Саратовского государственного технического университета

УДК 658

**Ю.М. Федорчук, О.Д. Исаева****КАДРОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Рассмотрены теоретические вопросы кадрового обеспечения инновационно-го развития экономики в машиностроении и управление этим процессом на уровне предприятий, вузов и региона.*

**Y.M. Fedorchuk, O.D. Isaeva****PEOPLEWARE OF INNOVATION DEVELOPING ECONOMY  
IN MACHINE BUILDING**

*The inquiry of theoretical base of peopeware of innovation developing economy in machine building and administration by this process at enterprise, institute and regional levels, are considered in the article.*

Машиностроение – это системообразующая отрасль промышленности, создающая машины и оборудование, применяемые повсеместно, и представляющая собой катализатор научно-технического прогресса, на основе которого осуществляется техническое перевооружение всех отраслей экономики. В советской экономике машиностроение относилось к тяжелой промышленности, группе «А» – «производства средств производства» и его развитию придавалось приоритетное значение. Доля машиностроительного производства находилась на уровне развитых стран и составляла более 40%. По состоянию на 1990 год машиностроение включало 11 крупных комплексных отраслей и около 100 специализированных. По общему объему выпуска продукции машиностроения СССР занимал второе место в мире после США. В 90-е годы объем производства машиностроительной продукции снизился в несколько раз, причем удельный вес машиностроения в общем объеме промышленного производства сократился до 16%. Причины кризиса общие для всей экономики – это отраслевой принцип промышленности с высоким уровнем специализации, низкий уровень межотраслевого обмена, разрушение единого экономического пространства, зависимость от сырьевых цен и импорта капитала. Однако ряд специфических особенностей, присущих только машиностроительным предприятиям, сделали кризис в этой области наиболее глубоким и болезненным. К числу этих осо-

бенностей следует отнести: низкий уровень рентабельности производства, высокий уровень накладных расходов, энергоемкости и металлоемкости технологий, длительный производственный цикл и, как следствие, длительный период возвратности инвестиций. Машиностроительное предприятие имеет также относительно низкий уровень фондоотдачи, высокий уровень специализации и милитаризации, потребность в дорогостоящем высокотехнологичном оборудовании и, безусловно, в высококвалифицированных инженерно-технических и рабочих кадрах [1].

За 10 лет ситуация постепенно исправилась: развитие процессов импортозамещения, проведение на предприятиях работ по оптимизации мощностей, реструктуризация долгов предприятий перед бюджетами различных уровней, освоение новой техники, рост объемов поставок на экспорт отдельных видов машиностроительной продукции позволили обеспечить рост рентабельности выпуска товарной продукции с 5,4% в 1998 году до 12,5% в 2002-м. Но, в 2001-2002 годах перечисленные факторы роста производства практически исчерпали себя. Причиной стало сокращение ценового разрыва между импортной и отечественной продукцией вследствие постоянного роста тарифов на энергоносители, транспортные перевозки, цен на комплектующие изделия и издержек, связанных с экономически недостаточным объемом продаж. В целом по машиностроению темпы роста становятся почти в два раза ниже, чем в среднем по промышленности. Рентабельность производства вновь снизилась, а количество убыточных предприятий увеличилось почти до 40%. Таким образом, кратковременный всплеск роста производства не привел машиностроение к решению главной задачи – модернизации оборудования и технологий, прежде всего из-за недостаточных инвестиций в основной капитал и низкой инновационной восприимчивости предприятий.

Сегодняшний финансовый кризис наложился на внутрисистемный; физический и моральный износ основных средств производства достиг критического уровня – 65%. Выбытие основных фондов идет с темпом 2,5% в год, тогда как годовой темп обновления технологической базы не превышает 0,5%. Можно отметить, что уровень инновационной активности на предприятиях остается низким, механизмы продвижения перспективных разработок в производство работают неэффективно. Удельный вес производств, соответствующих пятому технологическому укладу, возникшему в развитых странах в 90-е годы, составляет лишь 8%. В основном доминирует четвертый технологический уклад, который, по оценкам специалистов, достигнет высшей точки подъема только к 2015 году. То есть российскому машиностроению необходимо преодолевать отставание от мирового уровня в полтора-два технологических поколения (одно поколение 10-15 лет) с одновременным формированием и распространением в перспективе наиболее эффективных направлений пятого и шестого технологических укладов [1].

Таким образом, виден замкнутый круг проблем машиностроения: старые фонды и технологии – низкое качество продукции – низкие объемы продаж – нехватка денежных средств на обновление оборудования. По оценкам экспертов, на мировом рынке могут конкурировать в соответствующих сегментах не более 50 российских машиностроительных компаний из 7,5 тысячи крупных и 30 тысяч мелких предприятий машиностроительного комплекса. Помимо этого, следует учитывать, что требования к современному машиностроительному производству в развитых странах постоянно усложняются: число составляющих производственного процесса увеличивается, характер их взаимодействия становится все более динамичным и многопараметрическим. Мировая практика показывает, что за последние 30 лет сложность машины как объекта производства возросла в 6 раз, а требования к точности изготовления деталей и сборки выросли примерно на порядок.

Из вышеизложенного следует, что российскому машиностроению необходимо решать одновременно три основные задачи: интенсивную модернизацию машиностроения и его технического перевооружения; создание условий для повышения инвестиционной привлекательности машиностроительных предприятий; подготовку и переподготовку кадрового потенциала с формированием нового инженерно-технического и управленческого поколения, способного обеспечить инновационное развитие машиностроения.

Каким образом обеспечить кадрами инновационную экономику на предприятиях машиностроения? В данной отрасли трудятся около 4 млн. человек – 35% от общего числа занятых в промышленности России. К проблемам качества кадров для инновационного развития отрасли машиностроения следует отнести следующие:

– технический персонал не обладает навыками и знаниями для работы на новейшем технологическом оборудовании;

- экономисты составляют неграмотные бизнес-планы, ориентированные на взятие кредитных средств, а не на реальное инновационное проектирование;
- повсеместно инновации являются «лоскутными», нет системных решений;
- топ-менеджмент ориентируется на стратегии, основанные на имеющихся ресурсах, а не на амбициях – предлагаются решения, основными достоинствами которых являются дешевизна при полной аналогии с имеющимися образцами;
- информационный отдел не ориентируется на современные решения производственных проблем в России и за рубежом, а подстраивается под устаревшие технологии;
- маркетологи пытаются реализовать произведенное, без связи с разработчиками о потребностях потребителей;
- неудовлетворительная работа патентного отдела – изобретение и разработки аналогичной продукции;
- отсутствуют технологические переводчики, способные определить проблемы машиностроения и перевести их на научный язык;
- отсутствуют технологические предприниматели, ориентированные не на гарантированный низкий результат, а на рисковый многомиллионный бизнес;
- используется консервативная европейская модель венчурного финансирования, основанная на просчете будущих денежных потоков, а не американская модель, позволяющая принимать решение о финансировании, исходя из объемов рынка, который может захватить новая технология.

Указанные проблемы могут быть устранены подготовкой компетентных кадров для инновационного развития машиностроения. Необходимы квалифицированные работники, способные обслуживать новое технологическое оборудование, проектировать новые технологии, специалисты, занимающиеся маркетинговыми исследованиями, изучением и прогнозированием спроса на продукцию предприятия, продвижением ее на рынок, специалисты по разработке и внедрению информационных технологий, специалисты кадровых служб и нормировщики, экономисты и финансовые работники для работы в цехах и на производстве, специалисты по разработке стратегии развития предприятия. Без указанных специалистов невозможен переход отрасли на следующий технологический уклад.

Существующая практика обучения специалистов не отвечает современным требованиям экономической среды, и поэтому высшей школе необходимо сделать акцент на подготовку инновационно-ориентированных специалистов. Тут появляется новый элемент образовательной услуги – не только передача знаний, навыки извлекать знания их огромного банка данных, но и научить создавать знания. А для этого необходима интеграция учебной и научной сторон деятельности университетов, стимулирование у студентов интереса к науке и творчеству, развитие их креативных способностей, обучение умению превращать новые знания в инновации. И, как итог, необходимо научить студента коммерциализировать свои знания и разработки, знать, как образуются цены и механизмы обращения знаний [2].

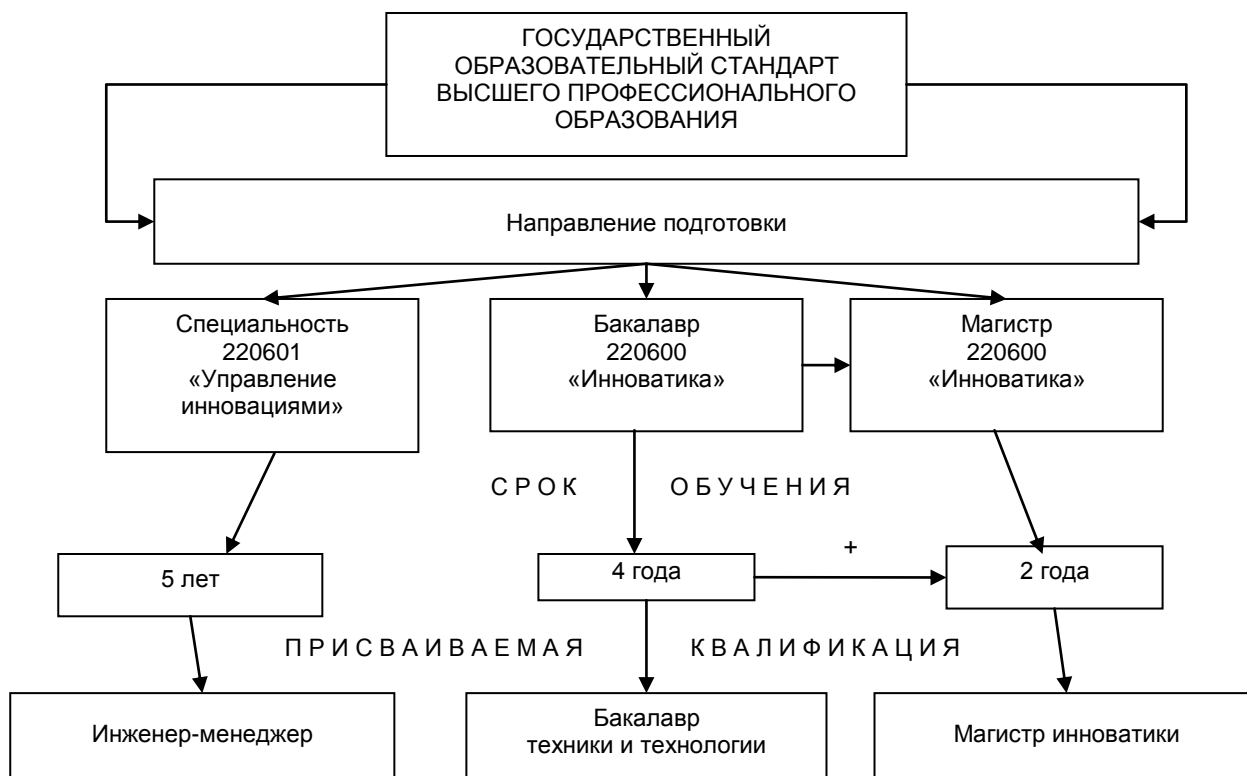
Разработкой таких методов и средств управления инновационной деятельностью, развитием системных способностей руководителей проектов, работников предприятий инфраструктурного обеспечения и непосредственных создателей новых продуктов – инженеров и научных работников – занимается инноватика.

Как направление ВПО «Инноватика» сформировалась на базе Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (СПбГПУ). В 1999-2003 гг. здесь был успешно проведен эксперимент по подготовке бакалавров в рамках нового направления ВПО «Инноватика». Дальнейшие научно-методические и учебно-методические исследования, проведенные в СПбГПУ совместно с другими университетами, привели в 2002 г. к формированию в рамках направления ВПО «Инноватика» программ для подготовки магистров и специалистов по специальности «Управление инновациями». В 2003 г. их начали реализовывать шесть российских университетов. Был создан учебно-методический совет по направлению ВПО «Инноватика», действующий при УМО вузов по университетскому политехническому образованию (базовые – Санкт-Петербургский государственный политехнический университет и Государственный университет управления) [3].

На рисунке представлены основные направления подготовки магистров и специалистов по инноватике, утвержденные Государственным образовательным стандартом ВПО. В Саратовской области подготовка по данному направлению начата сразу в нескольких вузах – СГУ, СГАУ и СГТУ. На кафедре «Экономика и управление в машиностроении» СГТУ с 2005 г. ведется подготовка эконо-

мистов-менеджеров по специализации «Управление инновациями». С 2009 года ведется набор студентов на специальность «Управление инновациями» и открыт бакалавриат «Инноватика». В перспективе также открытие таких междисциплинарных направлений как «Наукоемкие технологии и экономика инноваций» и «Организация и управление наукоемким производством».

Для развития инноватики как науки и методологии инновационной деятельности не менее актуальна и задача подготовки научных работников, исследователей, способных развивать теорию управления инновационными процессами, разрабатывать научные основы и формировать теоретические основания подготовки специалистов-практиков.



Направления подготовки магистров и специалистов,  
утвержденные Государственным образовательным стандартом ВПО по инноватике

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция формирования Государственной комплексной программы развития машиностроения России. Потенциал развития [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.soyuzmash.ru/informcenter/concept/concept.htm>, свободный. рус., загл. с экрана.
2. Атоян В.Р. Инвестирование инновационной производственно-хозяйственной системы / В.Р. Атоян, А.Н. Плотников // Инновации. 2002. № 9-10. С. 78-81.
3. Туккель И.Л. Становление инновационной экономики: университеты и кадровое обеспечение / И.Л. Туккель, М.П. Федоров // Проблемы образования, науки и культуры. 2007. № 52. Вып. 22.

**Федорчук Юлия Михайловна** –

кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Исаева Оксана Дмитриевна** –

студентка  
Саратовского государственного технического университета

Ю.М. Федорчук, Е.А. Такишина, Т.Н. Одинцова

## ПРОБЛЕМАТИКА СИСТЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РАМКАХ СОВРЕМЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫХ ФОРМ

*Рассмотрены организационно-правовые вопросы функционирования государственных образовательных учреждений в современных условиях и направления развития отношений собственности в системе профессионального образования.*

Y.M. Fedorchuk, E.A. Takishina, T.N. Odintsova

## THE PROBLEMATIC OF PROFESSIONAL EDUCATION SYSTEM WITHIN THE FRAMEWORK OF CURRENT ORGANIZATIONAL LEGAL FORMS

*The article considers organizational legal questions of state educational functioning institution in the contemporary context and directions for property development concerns within the system of professional education.*

Государственные образовательные учреждения в системе профессионального образования в России на сегодняшний день, если следовать классификации учреждений, приводимой в Гражданском кодексе РФ, относятся к числу бюджетных или автономных учреждений, финансируемых собственником и полностью зависящих от него в имущественных вопросах. В этой связи представляет интерес исследование вопросов экономической и юридической природы правоспособности образовательных учреждений и определение сферы правового регулирования различных видов осуществляемой ими деятельности.

В соответствии с законодательно закрепленной классификацией юридических лиц, вуз, частично или полностью финансируемый из соответствующего бюджета, относится к некоммерческому государственному образовательному учреждению ВПО. Место вуза в классификации юридических лиц отражено на рисунке.

В настоящее время деятельность образовательных учреждений регулируется Законом РФ от 10 июля 1992 г. № 3266-1 «Об образовании» и Федеральным законом от 22 августа 1996 года № 125-ФЗ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» с последующими изменениями, а также типовыми положениями об образовательных учреждениях соответствующих типов и видов, утвержденных Правительством РФ, и разрабатываемыми на их основе уставами. Для негосударственных образовательных учреждений типовые положения выполняют функции примерных положений. Их деятельность регулируется уставом вуза. Устав образовательного учреждения в части, не урегулированной законодательством РФ, разрабатывается и принимается образовательным учреждением и утверждается его учредителем. Гражданско-правовая правоспособность образовательного учреждения как некоммерческой организации определена нормами гражданского законодательства (п. 1 ст. 49 п. 1 и 3 ст. 50 ГК РФ).

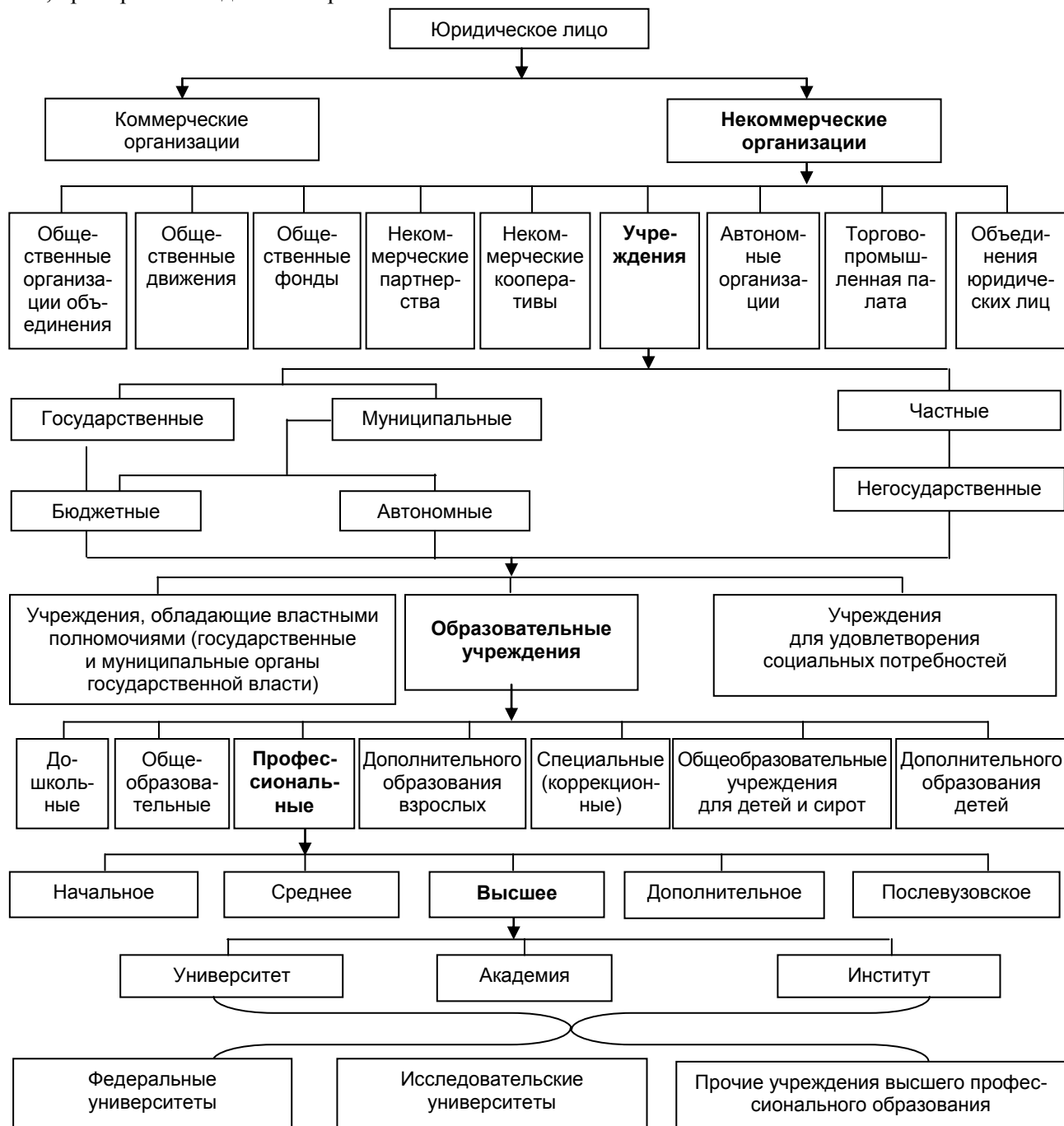
Отношения собственности в системе высшего образования урегулированы рядом нормативных актов: прежде всего Гражданским кодексом РФ (ст. 120, 296, 298, 299), Законом РФ «Об образовании» (ст. 39) и Федеральным законом «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» (ст. 27).

Все названные нормы подверглись изменениям в связи с принятием Федерального закона «Об автономных учреждениях». Динамика развития имущественных прав и следующие за этим современные преобразования в статусе образовательных учреждений позволяют обнаружить существенные изменения в их содержании.

Современная организационно-правовая конструкция, в которую интегрированы ГОУ ВПО, не удовлетворяет реалиям сегодняшнего дня и, функционируя, набирая опыт ведения деятельности, сами учреждения постоянно выходят за рамки этой конструкции, что, естественно, ограничивает экономическую свободу (снижая эффективность) и заставляет искать юридические обоснования, которые приобретают иногда причудливую форму, скрывая истинную сущность происходящего.

Можно выделить несколько организационно-правовых проблем, которые ограничивают экономическую самостоятельность ГОУ: ведение предпринимательской деятельности и получение при-

были образовательным учреждением как некоммерческой организацией; неоднозначность права оперативного управления; особенности определения правового статуса вуза; отношение к собственности, приобретенной до 01 января 2005 г.



Статус вуза в классификации организационно-правовых форм юридических лиц

Первая проблема привела к разработке ФЗ «Об автономных учреждениях», которая частично ее снимает. Но закон принят в ноябре 2006 года, а по прошествии трех лет число образовательных учреждений, сменивших статус бюджетного на автономный, очень мало. Отнесение бюджетного вуза к некоммерческому государственному образовательному учреждению ВПО обуславливает двойственность его положения, которая заключается в необходимости выполнять государственные функции и удовлетворять рыночным требованиям производства конкурентных услуг.

На сегодняшний день все государственные вузы оказывают платные образовательные услуги, таким образом осуществляют предпринимательскую деятельность, если исходить из п. 2 ст. 3 ГК РФ, в ко-

тором говорится, что под предпринимательской необходимо понимать «самостоятельную, осуществляемую на свой риск деятельность, направленную на систематическое получение прибыли от пользования имуществом, продажи товаров, выполнения работ или оказания услуг лицами, зарегистрированными в этом качестве в установленном законом порядке» (п. 1 ст. 2 ГК РФ). В соответствии с этим определением вуз не отличается от любого другого производства и обладает его следующими основными признаками:

- имеет статус юридического лица (п. 2 ст. 12 ФЗ РФ «Об образовании», п. 1 ст. 8 ФЗ РФ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании»);
- владеет находящимся в оперативном управлении имуществом и отвечает по своим обязательствам находящимся в его распоряжении денежными средствами (ст. 9 ФЗ РФ «О некоммерческих организациях»);
- реализует товар в форме образовательных услуг или программ ВПО (ст. 8 ФЗ РФ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании») и систематически получает прибыль;
- доходы от предпринимательской и иной приносящей доход деятельности являются налоговой базой (гл. 25 НК РФ).

Другими словами, предпринимательская деятельность в вузе строится по модели коммерческого юридического лица. Здесь следует предположить, что происходит не только трансформация вуза, которая одновременно определяет преобразование вещных прав, но и существенным образом их объем расширяется, появляются дополнительные полномочия, в частности не свойственные некоммерческим организациям.

Вторая проблема – неоднозначность права оперативного управления. Гражданское законодательство (ГК РФ) режим имущественных прав учреждения определяет в разделе «Право собственности и иные вещные права». К числу таких вещных прав, помимо прочих, отнесено право оперативного управления, которое применяется к «конструкции» учреждения. Таким образом, права учреждения на его имущество носят вещный характер. Учреждение является «несобственником» имущества, которое закреплено за ним учредителем. Между тем природа самих прав определяется видом самого учреждения как юридического лица, его отраслевой принадлежностью.

Но право собственности как универсальная гражданско-правовая категория строится на триаде правомочий – владение, пользование и распоряжение, где наличие только трех этих элементов в совокупности говорит об абсолютности самого права. Вещность права собственности определена, с одной стороны, тем, что гражданское законодательство в совокупность вещных прав включает право собственности. С другой стороны, если само право собственности – вещное право, то иные права никак не могут иметь самостоятельный характер, по крайней мере, не могут быть противопоставлены характеру вещности, и, следовательно, самому праву собственности.

Если учреждение имеет право на предпринимательскую деятельность, но на результаты этой деятельности не имеет право, так как на все, что приобретается на эти средства, учреждение не имеет права собственности, то теряется смысл самого предпринимательства и мотивация исчезает.

Федеральным законом от 3.11.2006 г. № 174-ФЗ «Об автономных учреждениях» введен двойной имущественный режим права оперативного управления учреждений нового типа – автономного учреждения. В результате образования (создания) автономного учреждения его имущественный режим распадается на два относительно самостоятельных полномочия: право оперативного управления на имущество, переданное (закрепленное) собственником с возможностью самостоятельного расходования заработанных средств и право самостоятельного распоряжения имуществом, приобретаемым самим автономным учреждением. В этом случае доходы от деятельности учреждения поступают в его самостоятельное распоряжение, а собственник не имеет право на получение доходов от использования имущества и деятельности учреждения.

При этом в последнем случае соответствующее полномочие не имеет ничего общего с расширенным правом оперативного управления (либо хозяйственного ведения), более того, приближено в модели имущественных отношений собственника и учреждения к праву собственности последнего.

Однако юридический режим принадлежности в любом случае определяется как полномочие владения и пользования и представляет собой «усеченный состав» вещного права собственности, однако здесь лишь в объеме соответствующих прав на все имущество автономного учреждения вне зависимости от оснований его приобретения.

Третья проблема – особенности определения правового статуса вузов. Закон «Об образовании» (1996 г. с последующими изменениями) облакает все образовательные организации в единую

организационно-правовую форму – образовательное учреждение и определяет механизм реализации права на образование, гарантированное государством.

В соответствии с п. 3 ст. 12 Закона «Об образовании» образовательные учреждения по организационно-правовым формам могут быть государственными, муниципальными, негосударственными – частными, учреждениями общественных и религиозных организаций (объединений). Поскольку под организационно-правовой формой понимается вид и способ структурного построения предприятия, компании, корпорации, предусмотренные законами и другими правовыми актами, становится ясно, что в этой статье Закона рассматриваемое понятие подменяется другим – формой собственности юридического лица.

Понятие «форма собственности» – экономическая, а не юридическая категория. Существует лишь одно право собственности с единым, одинаковым для всех набором правомочий (т.е. содержанием), у которого могут быть лишь различные субъекты. Учитывая это утверждение, можно предположить, что в п. 3 ст. 28 Закона «Об образовании» фактически дан перечень субъектов, имеющих право на создание образовательных учреждений, т.е. их учредителей (ст. 11 Закона). Но в Конституции РФ (ст. 43) упоминаются лишь две формы образовательных учреждений – государственные и муниципальные. Например, в ст. 41 Конституции РФ, посвященной праву граждан на охрану здоровья и медицинскую помощь, говорится о развитии как государственной и муниципальной, так и частной систем здравоохранения. Отсутствие в Конституции указания на поддержку государством развития и функционирования негосударственного сектора системы образования ограничивает его развитие.

Четвертая проблема – отношение к собственности вузов, приобретенной до 1 января 2005 года. Анализируя нормы российского законодательства, регламентирующие отношения собственности в системе образования, можно выделить два основных этапа в его развитии, влияющих на определение правового режима имущества вузов. Первый этап – до 01 января 2005 г., когда вступил в действие Федеральный закон от 22.08.2004 г. № 122-ФЗ, исключивший из Закона РФ «Об образовании» и Федерального закона «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» нормы, разрешавшие вузам обладать имуществом на праве собственности. Второй этап – соответственно после 1 января 2005 г., когда было исключено право собственности вузов на денежные средства, имущество и иные объекты собственности, переданные физическими и юридическими лицами в форме дара, пожертвования или по завещанию, на продукты интеллектуального и творческого труда, являющиеся результатом деятельности высшего учебного заведения, а также на доходы от собственной деятельности и приобретенные на эти доходы объекты собственности.

Руководствуясь нормами п. 7 ст. 39 Закона РФ «Об образовании» (в ред. от 20.07.2004 г.) и п. 2 ст. 27 Федерального закона «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» (в ред. от 23.12.2003 г.), казалось бы, можно сделать вывод: государственному вузу, несмотря на последующие изменения и дополнения законодательства, принадлежит право собственности на имущество (движимое и недвижимое), приобретенное и документально оформленное до вступления в силу Федерального закона от 22.08.2004 г. № 122-ФЗ (т.е. до 01.01.2005 г.). Такому выводу способствует и норма, содержащаяся в п. 3 ст. 120 Гражданского кодекса РФ. Она устанавливает, что особенности отдельных видов государственных учреждений могут определяться законом и иными правовыми актами. Отсюда следует, что особенность таких учреждений, как государственные вузы, как раз и заключалась в том, что они могли частью имущества обладать на праве оперативного управления, а частью имущества – на праве собственности. И хотя после 1 января 2005 г. такой особенностью государственные вузы уже не обладают, тем не менее данное обстоятельство само по себе не влечет прекращения права собственности на имущество, приобретенное вузом ранее.

Рассматривая данные вопросы, можно отметить, что как субъект рыночных отношений вуз подвержен всем экономическим изменениям, что происходят в экономике страны, и эволюция отношений собственности, разрастающееся многообразие ее форм, количества субъектов и объектов права собственности происходят в государственных вузах объективно, как следствие реального многоканального финансирования вузов и диверсификации направлений и видов их деятельности. На эти изменения необходимо оперативно отвечать, внедряя юридические конструкции, отвечающие современным требованиям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бердашкевич А.П. Правовые проблемы финансового обеспечения государственной политики в области образовательной и научной деятельности высших учебных заведений: автореф. дис. ... канд. юрид. наук / А.П. Бердашкевич. Саратов, 2002.



2. Ниязова М.В. Проблемы оценки эффективности предпринимательской деятельности бюджетных вузов / М.В. Ниязова // Университетское управление. 2003. № 3(26). С. 68-76.

3. Багаутдинова Н.Г. Собственность и вуз: проблемы и решения / Н.Г. Багаутдинова // Менеджмент в России и за рубежом. 2002. № 1. С. 43.

4. Бородач М.В. правовые проблемы трансформации отношений собственности в системе высшего образования в свете положений Федерального закона «Об автономных учреждениях» [Электронный ресурс] / М.В. Бородач // Портал ФГУ «Федеральный центр образовательного законодательства». Режим доступа: <http://www.lexed.ru/pravo/notes/conf/?borodach.html>. – русс., загл. с экрана.

**Федорчук Юлия Михайловна –**

кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Такишина Елена Анатольевна –**

кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Предпринимательство и проектный менеджмент»  
Саратовского государственного технического университета

**Одинцова Татьяна Николаевна –**

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Менеджмент туристического бизнеса»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 336.647

**С.В. Шевченко**

## **ЛИЗИНГ ПАТЕНТОВ КАК ФОРМА СОФИНАНСИРОВАНИЯ ВЕНЧУРНЫХ ПРОЕКТОВ**

*Обосновывается целесообразность совмещения лизинга оборудования с предоставлением в пользование технологий на их применение (патентов, лицензий).*

**S.V. Shevchenko**

## **LEASING OF PATENTS AS A FINANCING FORM FOR VENTURE PROJECTS**

*In the article the expediency of combination leasing of the equipment together with granting of usage their technology (patents, licenses) is proved.*

Инновационная направленность российской экономики требует уделять особое внимание финансированию рискованных новаторских проектов. Радикальные инновации сталкиваются с тремя препятствиями: *конструктивными* – требующими доработок и испытаний; *инвестиционными* – необходимостью в объёмных и долговременных инвестициях; *маркетинговыми* – связанными с продвижением незнакомого покупателю товара.

Общая причина упомянутых препятствий – длительный многоэтапный цикл научных исследований и проектно-конструкторских работ. В качестве примера можно привести сотовую связь, для которой этот период длился около 30 лет. Это иллюстрирует и другую особенность инноваций – зависимость от масштабов признания новшества рынком.

Главное преимущество лизинга перед иными формами инвестирования – предоставление материальных ресурсов на условиях аренды, удачно соответствует особенности новых образцов оборудования: технического несовершенства новшеств, профессиональной и организационной неподготов-

ленности персонала к новой технологии, потенциальной высокой рентабельностью проекта и экономической несбалансированностью проекта в целом.

Роль лизинговой компании (ЛК) – партнера десятков инвестиционных проектов в этом смысле выигрышна. Включение в инвестиционный портфель договоров лизинга оборудования с различным уровнем риска и потенциальной доходности позволяет ЛК перераспределять риски различных проектов с приемлемым для себя уровнем итоговой эффективности.

Рассмотрим предпочтения инвесторов и роль лизинга на этапах инновационного цикла [1].

На первом этапе при «посеве» новшества уровень неопределенности затрат и результатов проекта столь высок, что инвесторы соглашаются финансировать их весьма редко. Капитал в посевной период предоставляют сами разработчики, спонсоры (бизнес-ангелы), а также государственные и некоммерческие фонды в форме научных грантов, льготных кредитов, инвестиций на безвозвратной основе ввиду незначительности затрат (менее \$0,5 млн). Лизинговые компании в основном не способны выступить в роли инвесторов «посева». Если лизинговая компания и участвует в сделке на данном этапе, то в основном передавая в лизинг бизнес-ангелу требуемого новатору исследовательского оборудования.

На втором этапе (старт-ап) при учреждении новой компании возрастает необходимость в значительных (около \$1 млн) инвестициях. Специфика данного этапа в действительности венчурного менеджмента – соединении конструкторской мысли с опытом организации нового производства. При учреждении инновационное предприятие располагает только авторским правом на новшество. Этот актив может стать объектом залога для получения так необходимых кредитов. Банки неохотно кредитуют предприятия под залог объектов интеллектуальной собственности (ОИС) из-за сложностей их стоимостной оценки и низкой ликвидности. Содружество банка с ЛК, участвующей в техническом обеспечении предприятий, может значительно упростить эту проблему.

На третьем этапе (раннего роста) новшество, получившее признание у первых потребителей, нуждается в широком завоевании рынка. Маркетинговую программу венчурной фирмы может поддерживать ЛК. Использование механизмов финансовой аренды и оперативного лизинга взаимовыгодно как производителю, так и потребителю новой техники.

На завершающем четвертом этапе развития венчурной компании происходит продажа долей компании стратегическому инвестору. Продажа происходит по ценам, намного превышающим ранние вложения. Рыночная цена в значительной мере определяется известностью бренда среди покупателей и лизингополучателей нового оборудования. ЛК способна внести свой вклад в прирост капитализации и, с другой стороны, подыскать для компании наилучшего преемника среди своих клиентов.

Широкое распространение новшества (возможно, в разных отраслях) выходит за рамки возможностей одного предприятия. Для передачи новшества многим пользователям больше подходит механизм продажи лицензий, франшизы. Формой оплаты становятся прямые выплаты, арендные платежи, роялти (доля продукции), участие продавца в капитале и прибыли лицензиата.

Выделяются 3 основные группы ОИС: объекты авторского права, объекты патентного права, ноу-хау (объекты, передаваемые в режиме служебной или коммерческой тайны) и ряд объектов, формально не входящих в описанные выше группы [2].

Защита технологических решений и технических новшеств, представляющих коммерческий интерес, обеспечивается средствами патентного права.

Альтернативой использования патентов выступает ноу-хау – информация и технологические решения, не являющиеся запатентованными или зарегистрированными, оборот которых осуществляется в виде режима служебной или коммерческой тайны.

В США патентной защитой пользуются лишь несколько отраслей. Кроме того, суммарная выгода от патентной защиты для компаний составляет всего около 15-25% от их расходов на НИОКР, предпочтение отдается ноу-хау – распространенному инструменту эффективной защиты изобретений.

Основными функциями патентов и других охранных документов являются возможная продажа прав на ОИС и защита от возможных конкурентов.

При патентовании основной вес имеет не столько наличие охранных документов, сколько возможность с помощью прав интеллектуальной собственности защититься от конкурентов на интересующих компанию рынках.

Предпочтительным является создание группы «переплетенных», защищающих друг друга патентов в разных странах мира, защищающих все аспекты технологии: материалы, оборудование,

промежуточная продукция, конечный продукт. Поэтому эксперты рекомендуют автору изобретения: зарегистрировать патент на себя; затем продать патент компании (или внести в уставной фонд) с выплатой фиксированных роялти; впоследствии работать в компании главным технологом или конструктором, обеспечивая авторское сопровождение и совершенствование изобретения.

Суммарная стоимость, складывающаяся из: 1) стоимости оборудования (как объекта лизинга), иного имущества предприятия, 2) стоимости технологии, других нематериальных активов – не совпадает со стоимостью (капитализацией) всего предприятия, поскольку последняя определяется способностью выпускать продукцию – товар, доходы от которого могут как многократно превышать стоимость и оборудования и технологии (патента), так и не покрывать даже часть этой суммы.

Таким образом, коммерческая оценка стоимости предприятия должна исходить из стоимости (прибыльности) будущей продукции и далее разлагаться на составляющие (коммерческая стоимость патента, коммерческая стоимость оборудования и др.) пропорционально их начальной цене (затратам на приобретение). Для типового (многоцелевого) оборудования эта связь также существенна, но менее определена – она различна в зависимости от сферы применения универсального оборудования.

Для инновационных уникальных по технологии предприятий эта связь – соединение технологии (патента) и оборудования (в составе основных фондов) – становится решающей. Комплекс «Патент – Оборудование – Технология» в большей мере определяет коммерческую стоимость предприятия, его доходность, окупаемость инноваций и оборудования. Не случайно инвестор рассматривает бизнес-план проекта в целом, а не только окупаемость прямых (реальных) инвестиций. Таким образом, он оценивает рентабельность всего будущего предприятия и как часть – отдачу своей доли затрат.

В особом положении находится лизингодатель. Передавая оборудование в лизинг, он получает в залог только его стоимость, а не долю всего производства. В случае неплатежей арендатора ЛК может покрыть свои расходы преимущественно из остаточной стоимости оборудования. Отделение же оборудования от технологии, защищенной патентом, не только понижает его стоимостную оценку, но и лишает собственника возможности дальнейшего производительного (коммерчески оправданного) использования возвращенного объекта лизинга, т.е. возможности возместить даже часть своих затрат.

В случае лизинга оборудования для реализации инновационного проекта инвесторы ЛК принимают в расчет все предприятие по его потенциальной коммерческой стоимости. Юридически же в Договоре лизинга оговариваются условия перехода права собственности только на оборудование. Это расхождение порождает дополнительные риски ЛК.

Выходом может служить устранение этого расхождения в Договоре технологического лизинга посредством соответствующей оговорки о возможности перехода права собственности на все предприятие (результаты его деятельности). Схематично данная сделка выглядит следующим образом: заключение договора лизинга с условием одновременной продажи патента лизинговой компании; заключение лицензионного договора с лизингополучателем оборудования, в котором прописывается условие отзыва лицензии в случае нарушения условий договора лизинга со стороны лизингополучателя; заключается договор (фьючерс или опцион) по которому лизингодатель обязуется передать право собственности на патент лизингополучателю в случае исполнения последним всех заранее оговоренных условий (в частности условий договора лизинга оборудования).

Возможны два сценария дальнейшего развития ситуации:

– оплата лизинговых платежей лизингополучателем и передача ему в собственность и патента и оборудования;

– неисполнение лизингополучателем своих обязательств и возврат имущества лизингодателю с одновременным отзывом лицензии. В данном случае лизингодатель вправе уже сам решать реализовать ли имущество вместе с патентом или взять проект под свое начало.

Новые условия возмещения услуг и рисков ЛК возможно потребуют и новых видов услуг ЛК, в частности:

– обоснований по оценке потенциальной рыночной стоимости (капитализации) будущего предприятия арендатора;

– оценку рыночной стоимости предприятия на момент расторжения договора лизинга (в силу неплатежей);

– принятия ЛК обязательств по зачету возврата арендованного оборудования не по остаточной стоимости, а по доле в капитализации предприятия;

– различных форм реализации таких гарантий, например, введения лизинговой компанией внешнего управления на предприятии арендатора-банкрота.

Принципиально новым элементом договора лизинга, гарантирующим покрытие обязательств арендодателя из полной стоимости инновационного предприятия, станет участие ЛК в предоставлении в пользование и оборудования, и самой технологии (патента, лицензии на применение) с использованием арендованного оборудования.

Данная схема снижает риски лизинговой компании – инвестора инновационного проекта. Снижение рисков происходит за счет наличия у ЛК двух гарантий: права собственности на уникальное оборудование, права собственности на ОИС (патент).

Для поддержания инвестиционного процесса ЛК необходим также штат внешних управляющих, способных завершить инновационный проект после смены собственника ОИС. Такое расширение сферы деятельности обеспечит возможность участия ЛК в высоко рискованных инновационных проектах. Со своей стороны, собственник ОИС – лизингополучатель, благодаря гарантии в виде 2 объектов получает не только возможность реализовать проект, но и остаться его собственником. В случае коммерчески успешной реализации проекта, новатор возмещает лизинговые платежи и выкупает патент на ОИС по ранее оговоренной цене, без учета подорожавшей долей венчурного фонда и становится полноправным собственником. Вместе это представляет ему уникальную возможность реализовать свой проект без привлеченного капитала, и самое главное – без совладельцев созданной венчурной фирмы.

Предложенная схема соединения лизинга оборудования и права на ОИС существенно расширяет существо отношений сторон Договора. Это способно значительно повысить и надежность и эффективность реализации инновационного проекта.

Посредником во взаимодействии инновационного предприятия с внешней средой становится инновационная инфраструктура – система информационных, правовых, финансовых, коммуникационных, логистических услуг. Лизинг соединяет, по крайней мере, 3 вида таких услуг: финансовых, логистических, информационных. Это ставит ЛК в особое положение «инкубатора новшеств» и стимулирует дополнение видов оказываемых услуг, комплексное обслуживание инновационных проектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каширин А.И. Венчурное инвестирование в России / А.И. Каширин. М.: Вершина, 2007. 320 с.
2. Тюрина В.Ю. Защита прав на интеллектуальную собственность – важнейшее условие развития национальной инновационной системы / В.Ю. Тюрина // Инновационная деятельность. 2008. № 1 (5). С. 87.

**Шевченко Станислав Васильевич** – аспирант кафедры «Экономика и управление в машиностроении» Саратовского государственного технического университета

УДК 331.101

**Е.В. Янченко**

### **СОЦИАЛЬНО-ТРУДОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ НА СОВРЕМЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

*Показаны изменения, произошедшие в социально-трудовых отношениях на российских предприятиях в постсоветский период. Выявлены проблемы, обусловленные усилением неформальных норм. Обоснованы перспективы развития, которые автор связывает с мерами государственной политики.*

**E.V. Yanchenko**

### **SOCIAL-LABOUR RELATIONS IN THE CONTEMPORARY INTERPRISE: THE PROBLEMS AND PROSPECTS**

*The changes occurred in the social-labour relations in Russian enterprises in the postsoviet period are shown in the article. The problems caused by strengthening non-formal norms are revealed. The prospects for the developments, which the author connects with the measures of the state policy, are substantiated.*

Последние десятилетия характеризуются существенными изменениями в социально-трудовой сфере. Данные изменения затрагивают большинство аспектов ее функционирования – от трудовой этики до системы управления на макроуровне. Поскольку труд для большинства россиян еще остается основным источником средств к существованию и даже жизненной позицией, создается запрос на теоретико-методологические исследования в области социально-трудовых отношений. Интерес представляют как проблемы, так и перспективы их развития на современном предприятии. От того, насколько грамотно организована и эффективно работает система социально-трудовых отношений и связей, зависит в конечном итоге результативность работы хозяйствующего субъекта в целом.

Социально-трудовые отношения трактуются как отношения, складывающиеся в обществе по поводу труда. Их предмет – условия труда и найма, оплаты и организации труда, обязанностей и прав, характера управления, дисциплины, режимов труда и отдыха, порядка и способов исполнения трудовых и социальных функций и др., т.е., все то, что так или иначе связано с качеством трудовой жизни. По большому счету, они направлены на достижение консенсуса между группами различных интересов, связанных процессом воспроизводства.

В прежней системе хозяйствования социально-трудовые отношения были жестко формализованы и строго регламентированы. Исключалась сама возможность социальных взрывов или конфликтов, поэтому не существовало принципиальных схем их предупреждения и борьбы с последствиями.

Интересы работника, по сути, задавались государством. Модель его поведения была легко предсказуемой: включаясь в трудовую деятельность, работник практически действовал по программе, которая предопределяла развитие его трудовой жизни, задавала рамки возможностей и достижений. Государство планировало и осуществляло повышение заработной платы в отраслях народного хозяйства и на отдельных предприятиях, регламентировало предоставление льгот из общественных фондов потребления. Государственные органы определяли возможные изменения в профессиональной карьере работников, включая или не включая их в «резерв кадров на выдвижение». Сам же работающий выступал пассивным объектом, который не мог самостоятельно изменить собственное положение.

Тип занятости, преобладавший в первой половине XX века, в позднюю индустриальную эпоху, характеризовался правилом трех единств: единства места работы, единства времени работы и единства действий. В условиях массового промышленного производства это привело к формированию систем организации труда и трудовых отношений, эффективных именно в тот период, но все больше не соответствующих изменившимся производственным технологиям и социальным стандартам постиндустриальной эпохи.

Рыночные отношения привнесли новые нормы хозяйствования в деятельность предприятий. Социально-трудовые отношения также приобретают новые черты. Работник все чаще отказывается от роли пассивного наблюдателя. Его позиция на производстве приобретает активный характер. Существенные изменения коснулись и структуры занятости. На смену полной занятости на крупных предприятиях с четким разделением труда пришли гибкие режимы занятости, возросла самостоятельность и универсальность работников.

Вместе с тем работник современного российского предприятия остается практически не организован и не может отстаивать свои права. Работодатель диктует ему свои условия, пользуясь выигранным для себя положением на рынке труда – превышением предложения рабочей силы над спросом. На многих предприятиях ухудшились условия труда. В результате инфляции и спада промышленного производства, связанного с мировым кризисом на фоне постиндустриального сдвига, снизился уровень жизни рабочих. Уровень заработной платы не позволяет удовлетворять жизненные потребности. Результатом стал отток квалифицированных рабочих кадров в сферу малого бизнеса, коммерческие структуры, работа в которых предполагает меньшие трудозатраты; рост числа рабочих, имеющих и желающих иметь дополнительно оплачиваемую работу; ослабление интереса к повышению квалификации; значительное снижение качества трудовой жизни, социальная незащищенность человека труда.

Многие нормы трудовых отношений, свойственных прежней хозяйственной системе с доминированием в ней индустриального способа производства и авторитарным управлением, еще сильны.

Они «помножены» на неблагоприятную рыночную конъюнктуру, несовершенства трудового законодательства и десятилетиями формировавшийся патерналистский менталитет. В итоге неформальные социально-трудовые отношения преобладают над формальными, определяемыми в трудовом контракте, что также существенно ухудшает позицию в них рабочего.

Исследование, проводимое на российских предприятиях [1], показало, что обычной в организации труда является практика устных и меняющихся распоряжений руководителя группы, начальника в обход формальных инструкций. Практика взаимозаменяемости и выполнения многих функций тоже широко распространена. Квалификация, нужная для конкретной работы, слабо регламентирована: часто бывает, что работники выполняют задание, которое не соответствует их должности и квалификации.

Что касается режима рабочего времени, то оно также слабо формализовано. Работникам приходится самим преодолевать нерегулярность и неритмичность работы. Основные причины – крайняя изношенность оборудования и несовершенство организации производственного процесса. Работник зачастую вынужден заниматься организацией рабочего времени самостоятельно. Пренебрежительное отношение работодателя к организации рабочего времени приводит к повсеместному использованию сверхурочной работы, которая таковой не признается. Широко распространены слабо регламентированные переработки. По той причине, что нормы жестко и явно не определены или завышены, а заработки низкие, работники вынуждены перевыполнять нормы.

Проблемой социально-трудовых отношений является также размытость структуры управления. Работникам не всегда ясно, кто является их главным прямым начальником. ИТР и руководители среднего звена тоже не всегда могут определить центр управления, особенно если собственник и руководство – разные субъекты. Особенно вопрос усложняется, если руководство занимается меньше основным производством, чем созданными им альтернативными фирмами – коммерческими, инновационными, консалтинговыми, инжиниринговыми и т.п. на базе основного, доход от работы которых частично направляется и на поддержание основного производства.

Значительное влияние на структуру и характер социально-трудовых отношений на современном предприятии оказывает личностная составляющая, связи, то, что относится к социальному ресурсу работника. Например, в случае нарушения трудовых прав большинство работников прямо обращаются к непосредственному начальнику. Им кажется «естественнее» и эффективнее установить «хорошие отношения» с руководителем участка или отдела. Взаимоотношения в коллективе строятся больше по принципу личных взаимосвязей, чем на основании принадлежности к той или иной социальной или профессиональной группе.

При приеме на работу важным (на руководящие должности наивысшего уровня – решающим) фактором является личное знакомство или участие в общей сети межличностных взаимоотношений. Сама процедура оформления, как правило, упрощена. За редким исключением (когда речь идет о срочном контракте) взаимные права и обязанности не обговорены и не объяснены.

Правила увольнения еще менее формализованы, а подчас и незаконны. Увольнение работника по закону должно быть обосновано нарушением дисциплины или недостатком квалификации. В действительности же, как говорится, «всегда найдут причину, чтобы уволить». Чтобы увольнение формально соответствовало закону, применяются разные способы: обвинение в нарушении дисциплины или давление на работника, чтобы он ушел по собственному желанию. Увольняют в первую очередь «несогласных», «бунтовщиков» или «бездельников» – тех, кто не угоден начальству.

Неясность критериев увольнения допускает и противоположную практику: сохранение человека на своем рабочем месте, несмотря на некомпетентность, несоответствие его профессиональных качеств и компетенций занимаемой должности, нарушение дисциплины, особенно в случае, если замены ему нет, или если он в хороших отношениях с руководителем.

В случае массового сокращения работники беззащитны. Единственный орган, который мог бы заступиться за них, – профсоюз, как правило, бездействует. Критерии сокращения обычно внятно не объясняются и не подлежат дискуссии или формальной процедуре «трудового спора». Там, где работники еще не полностью разобщены, они представляют собой микроколлективы с участием представителей низовой администрации. Эти коллективы не формализованы, неустойчивы, т.е., не обязывают участников.

Трудовая атмосфера в основном формируется на основании слухов, смутных представлений о перспективах предприятия, неуверенности в себе. В среде рабочих доминирует заниженная само-

оценка, обусловленная не столько соображениями не востребоваемости на рынке труда или несоответствия навыков текущему этапу НТР, сколько логикой руководства, озвучиваемой в высказываниях типа «не нужны», «поищите место, где платят больше»...

Проблематичными остаются на сегодняшний день и отношения, складывающиеся по поводу оплаты труда. В подавляющем большинстве случаев работа сдельно-премиальная. В этих условиях зарплата соответствует табельным расценкам, коэффициентам и критериям премирования, т.е., она формально нормирована. Но на практике такая форма оплаты довольно гибка: размер зарплаты зависит от множества дополнительных факторов, большинство из которых не оговорено с работником и не определено в коллективном договоре, исходя из производственных или рыночных критериев.

Технологические нормы и установленные правила, в частности, при контроле качества продукции, результата труда оказываются нежесткими, что в какой-то мере компенсируется практикой депремирования в зависимости от оценки руководителем уровня несоответствия результату заданию, зарплаты и личности работника. Существует противоречие в зафиксированных приказами и инструкциями требованиях администрации относительно норм выработки и качества работы при сдельной оплате. Это заставляет наемных работников практически всех категорий искать компромисс между первым и вторым. Поскольку они стремятся, в первую очередь, больше зарабатывать, то склонны к «халтуре»: сделать больше, но не очень качественно.

В целом дисциплина труда кажется большинству работников неясным, туманным понятием. Она формально есть, а на практике – как получится. Правила относительно дисциплины особенно гибки и зависимы от их интерпретации работодателем, руководством и от их конкретного применения. Между тем официально дисциплинарные правила существуют и всегда могут быть использованы в случае, если кого-то надо наказать.

Многие организаторы производства, действуя в русле сложившихся неформальных практик, проводят близорукую кадровую политику, оплачивают рабочую силу ниже ее стоимости, не учитывают сверхурочные часы, не вступают в союзы предпринимателей, чтобы избежать заключения тарифных соглашений.

Таким образом, большинство проблем социально-трудовых отношений, сложившихся на современных российских предприятиях, связано с доминированием неформальных норм в ущерб представлениям о социальной справедливости, принятым в нашем обществе. Следовательно, перспективы развития нельзя не связать с их формализацией. В частности, предлагается расширить масштабы государственного регулирования в области управления трудом на макроуровне. Роль государства, на наш взгляд, не должна ограничиваться принятыми на сегодня функциями. Того, что государство формирует систему социальных нормативов и принципов налогообложения доходов; создает рамочные условия для функционирования рынка труда и принимает, но не всегда контролирует соблюдение законодательства о труде, явно недостаточно для решения обозначенных проблем социально-трудовых отношений. Требуется усилить контрольную функцию с целью формирования социальной ответственности бизнеса. За предприятием целесообразно оставить те регулирующие функции, которые проистекают из организации производства, например, подбор, расстановку кадров, разделение и кооперацию труда, организацию и обслуживание рабочих мест и технологических процессов и т.п. Система складывающихся на предприятии социально-трудовых отношений должна соответствовать концепции «достойного труда». Это означает организацию трудовых процессов на уровне мировых стандартов и в соответствии с требованиями постиндустриальной эпохи; достойную оплату без резкой дифференциации по сферам и отраслям производства и в зависимости от трудового вклада; усиление позиций работника по отношению к работодателю мерами государственной правовой защиты. Провозглашаемая роль государства как гаранта социальной справедливости должна стать реальной. Гармонизация социально-трудовых отношений на сегодня без этого вряд ли возможна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Становление трудовых отношений в постсоветской России / Институт социологии РАН. М.: Академический проект, 2004. 320 с.

**Янченко Елена Викторовна** –

кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономическая теория и учения»

Саратовского государственного технического университета





## СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

УДК 001.895

**В.Н. Крючков**

### СТУПЕНИ КРЕАТИВНОСТИ В ВУЗЕ

*Ступени зарождения, формирования и реализации студенческого замысла рассмотрены на примере проекта «Предолимпийская эстафета».*

**V.N. Kryuchkov**

### THE STAGES OF CREATIVITY IN HIGH SCHOOL

*The stages of origin, formation and realization of a student's project are considered on an example of the project «Before Olympic relay race».*

Творческое отношение к делу высоко ценится и преподавателями, и работодателями. Существуют специальные методики оценки и развития творческого потенциала. Журнал творческого поведения (The Journal of Creative Behavior) предлагает разнообразные системы тестов для диагностики творческих способностей, процедуры их стимуляции (брейнсторминг и др.).

В вузе сложились ступени креативности: активность на занятиях, участие в студенческих конференциях, яркие курсовые и дипломные работы. Вершиной студенческой активности считается победа на международном конкурсе. Этот путь признан, но он не связан с механизмами творчества.

Ученые, начиная от А. Пуанкаре, описывают путь к научному открытию последовательностью отрезков: постановка проблемы, созревание замысла (инкубация), озарение, завершение (обоснование достоверности результата), его критика, проверка [1].

Ступени зарождения, формирования и реализации студенческого замысла рассмотрим на условно-реальном примере проекта «Предолимпийская эстафета» (события реальны, имена изменены).

**Замысел. Обстоятельства** – канун Олимпийских игр, общее внимание к спортивной и политической ситуации в стране-организаторе Олимпиады.

**Идея Проекта.** По аналогии с эстафетой олимпийского огня пронести вокруг планеты Кубок волжан и вручить его как приз зрительских симпатий олимпийскому чемпиону.

**Цель.** Используя благоприятные обстоятельства и захватывающую идею, выявить и сплотить творческие силы студентов вуза и их земляков.

1. **Образ Проекта.** Волжане и выходцы из Поволжья, проживающие за рубежом, объединяются для учреждения Кубка. Передавая из рук в руки, доставляют его на Олимпиаду и вручают побывшему спортсмену как символ всемирного признания.

2. **Сценарий.** Последовательно разворачиваются 4 мероприятия Проекта: 2.1) проведение конкурса эскизов и изготовление Кубка; 2.2) согласование маршрута и отбор участников Эстафеты; 2.3) движение эстафеты; 2.4) выборы лауреата и вручение ему Кубка.

3. **Этапы организации Проекта:** 3.1) признание Проекта вузом; 3.2) формирование инициативной группы; 3.3) проведение мероприятия 1. Изготовление кубка; 3.4) поиск областного Попечителя проекта, выполнение с его поддержкой мероприятия 2. Подбор маршрута и участников эстафеты; 3.5)

поиск Федерального попечителя проекта, выполнение с его поддержкой мероприятия; 4. Продвижение эстафеты вокруг планеты; 3.6) утверждение бренда Проекта – с согласия знаменитого спортсмена; выполнение мероприятия 4. Выборы лауреата и вручение ему Кубка.

4. Поиск Попечителей и участников Проекта. 4.1) апробация идеи и сценария последовательно на уровне обсуждения с друзьями, в студенческих группах, с преподавателями кафедры, с представителями общественных организаций области; 4.2) на призыв к соучастию в Проекте к 5 областным организациям 3 не откликнулись, 2 ограничились полезными советами; 4.2) Из 7 подразделений вуза, однопрофильных с Проектом, 3 согласились привязать мероприятия Проекта к своей плановой деятельности: 4.2.1) кафедра физ. воспитания провела студенческий конкурс на лучший эскиз Кубка; 4.2.2) кафедра архитектурного дизайна включила подготовку эскизов кубка в курсовое задание; 4.2.3) зам. по воспитательной работе обратился к ректору за поддержкой проекта; 4.3) вновь назначенный ректор вуза рискнул поддержать необычный Проект; 4.4) в рамках предвыборной кампании знаменитый спортсмен посетил вуз, он разрешил назвать Кубок своим именем; 4.5) на его письмо в МИД РФ Росзарубежцентр обещал поддержать Эстафету силами сотрудников Русских домов науки и культуры в столицах стран по маршруту Кубка; 4.6) Депутат Государственной Думы от Саратовской области обратил внимание Областного правительства на полезную инициативу студентов. Областное министерство по спорту поручило своему сотруднику курировать Проект.

5. Распределение ролей. Мероприятия проекта получили своих менеджеров в соответствии с иерархией; 5.1) по замыслу зарубежную часть эстафеты курирует Росзарубежцентр, его представители встречают Кубок в столицах, проводят встречу с русской диаспорой, обеспечивают таможенную поддержку пересечения границ; 5.2) Олимпийский этап. Вручение Кубка осуществляет Знаменитый спортсмен – член российской делегации на Олимпиаде; 5.3) освещение событий проекта в СМИ ведут Саратовская, Российская газеты, а также сайт правительства Саратовской области, финансирование движения на этапах маршрута осуществляется участниками эстафеты; 5.4) Рабочие контакты со студентами вузов, спортсменами, болельщиками спорта, выходцами из Поволжья за рубежом осуществляют менеджеры вуза: 5.4.1) преподаватели физкультуры, руководители спортивных секций – под их контролем студенты следят за состязаниями олимпиады, называют лучших спортсменов в каждом из 42 видов спорта; 5.4.2) воспитатели факультетов вуза поддерживают интерес к Проекту со стороны студентов, косвенно связанных с Проектом, – имеющих друзей, родственников, корреспондентов за рубежом, желающих установить новые дружеские и деловые контакты, закрепить знание иностранного языка; 5.4.3) общественные студенческие комиссии: 5.4.3.1) Жюри конкурсных эскизов Кубка; 5.4.3.2) Жюри отбора лауреата Кубка; 5.4.3.3) Менеджеры формирования состава участников эстафеты; 5.4.3.4) Диспетчеры движения эстафеты на этапах; 5.4.3.5) Секретарь и оператор мобильной связи; 5.4.4) после оповещения на сайте областного правительства интерес к Проекту высказал оператор сотовой связи, осваивающий саратовский рынок. Предоставленный им номер сотового телефона используется для SMS-голосования и оперативной связи с участниками эстафеты на маршруте.

6. Защита проекта от рисков. Как всякое масштабное мероприятие, Проект связан с вовлечением большого числа участников, расходами ресурсов вуза, отвлечением внимания студентов и преподавателей от других плановых мероприятий, потенциальными конфликтами: 6.1) конфликты между Инициатором проекта и линейными руководителями вуза возможны под угрозой изменения ранее намеченных планов, перераспределения централизованных ресурсов, возникающей ответственности. Поэтому типичная реакция линейных руководителей – отмолчаться; типичная форма активности Инициатора - разнообразное моральное давление; 6.2) конфликты между формальными и неформальными лидерами подразделений вуза в связи с занимаемой позицией по отношению к Проекту. Рекомендуемый прием защиты сложного проекта от административного вето – поиск авторитетного Попечителя, демонстративно одобрявшего проект; 6.3) Наибольшая угроза Проекту – дискредитация участников, особенно при финансовых операциях. Все операции следует осуществлять безналично.

7. Координация действий участников требует тройных усилий: разъяснения и следования общей цели, дублирования исполнителей, обязательного взаимного и головного контроля качества исполнения [2].

8. Подведение итогов. Один из 2 экземпляров Кубка вручен лауреату, другой передан на хранение в музей вуза. Лауреатом стал волжанин – обладатель единственного на олимпиаде мирового рекорда.

9. Распределение результатов Проекта. Вуз громко заявил о себе, получил **материальную** отдачу от притока абитуриентов; ректор увидел новых коллег в деле; ректорат заметил активных организаторов; Инициаторы Проекта получили материалы исследовательского эксперимента; воспитатели факультетов оживили свою работу; члены студенческих комиссий приобрели опыт командного взаимодействия, студенты включили материалы Проекта в курсовые и дипломные работы/

#### Анализ итогов

- Латентная **цель** Проекта – объединить студентов и их земляков в одном значимом и масштабном деле, предоставить каждому участнику возможность проявить себя и получить международное признание – формировалась по мере подключения новых исполнителей и Попечителей.

- Большинство участников Проекта, признавая титульную цель, следовали собственным устремлениям: должностным, карьерным, познавательным; степень совпадения этих целей с титульной – менее 50%. Это соотношение принципиально, его следует учитывать и использовать в управлении проектами.

- Активисты Проекта подбирались вначале из круга ближайших знакомых, затем из лидеров неформальных групп, руководителей подразделений и организаций, близких Проекту. Восходящая мобилизация участников действеннее, нисходящая – безопаснее.

- Признание Проекта на международном уровне невозможно без участия МИД. Прямой путь к нему за поддержкой – через депутата Государственной Думы от региона.

- Из Интернета Проект получил всю необходимую информацию для планирования: электронные адреса, телефоны, имена, расписания общественных мероприятий. Но без личных контактов конфиденциальная информация остаётся недоступной, Проект натывается на подводные камни. Личные контакты необходимы!

- Попечитель Проекта – не обязательно спонсор. Много важнее, если он выступит молчаливым гарантом основательности и безопасности намерений участников Проекта.

- Участники Проекта: идеологи, профессионалы, активисты, попутчики. **Идеологи** прямо заинтересованы в успехе, **профессионалы** связаны с ним по должности и за эти рамки не выходят, **активисты** охвачены энтузиазмом в пределах свободного времени, **попутчики** откровенно решают свои проблемы, используя участников Проекта.

Реализация проекта проходит под контролем идеологов и их ресурсов, с непременным привлечением опыта и помощи профессионалов. Помощь энтузиастов требует напоминаний и постоянного контроля. Поручения попутчикам нужно соизмерять с их притязаниями.

- Результат согласованных действий участников Проекта значительно превысил сумму изолированных вкладов, поскольку четкая последовательность и направленность действий снижает потери, а взаимодействие исполнителей обеспечивает взаимную поддержку и взаимный контроль. В Проекте факторами кооперативного эффекта стали увлеченность студентов, обмен результатами и приемами работы в Интернете (сайт «odnoklassniki.ru»), использование опыта и технических средств вуза.

- Соотношение целей, ресурсов и результатов Проекта показывает, как велика нецелевая составляющая усилий участников. С другой стороны, наличие попутчиков позволяет использовать их ресурсы и заинтересованные усилия в Проекте.

- Для мобилизации творческой активности участников Проекта использованы: сложившаяся административная система вуза; целевая структура менеджмента Проекта; личная инициатива и механизмы самоорганизации отдельных исполнителей и малых контактных групп (переплетение интересов, сочетание увлечений и обязанностей, статусных притязаний и комплексов).

- Помимо титульной цели, Проект обеспечил **материальную** отдачу затрат от притока абитуриентов; ректорат выявил активных организаторов; воспитатели факультетов оживили свою работу; члены студенческих комиссий приобрели опыт командного взаимодействия, студенты включили материалы Проекта в курсовые и дипломные работы

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Калошина И.П. Психология творческой деятельности / И.П. Калошина. М.: Юнити-Дана, 2007. 559 с.
2. Дипроуз Д. Управление проектами / Д. Дипроуз. М.: Эксмо, 2008. 240 с.

**Крючков Вадим Николаевич** –

доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 316.346.3

**Ж.В. Петрова**

### **ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ КАК РЕШАЮЩИЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Проводится анализ формирования кадрового потенциала предприятия. Анализируются особенности формирования кадрового состава предприятия, способствующего конкурентоспособности на экономическом рынке.*

**Sh.V. Petrova**

### **REASONABLE FORMATION OF STAFF POLITICS AS THE ENTERPRISES DEVELOPMENT MAIN FACTOR**

*This article is devoted to the analyses of the enterprise staff formation specific features. These features, which make the enterprise to be compatible at economic market, are analyzed by the author.*

Современное российское общество на сегодняшний день находится в состоянии глубоких социально-экономических преобразований. Происходит реформирование основных политико-экономических и социально-правовых институтов. Традиционалистские ценности общества, несмотря на все происходящие изменения, все же продолжают играть немаловажную роль во всех сферах общественных отношений.

Рынок труда, конкурентоспособность регламентируют применение новых методов и приемов руководства предприятием, внедрение нанотехнологий. Результаты научно-технического прогресса выставляют высокие требования к возможностям и перспективам развития творческого и профессионального потенциала коллективов предприятий, производящих наукоемкую продукцию в соответствии с возникающими потребностями инновационного общества. Все это в огромной степени влияет на кадровую политику руководителей предприятий.

Актуальность необходимости рационального формирования кадрового состава предприятий как темы исследования можно анализировать в двух аспектах: научном и практическом. Научный аспект анализа предоставляет возможность изучить способы и методы подбора кадров, практический позволяет рассматривать исследуемые проблемы на конкретном эмпирическом материале производственных организаций, применить социологическую методику исследования организаций.

Актуальность исследования определяется еще и тем, что экономика современной России вступает в новый, инновационный цикл своего развития, когда все отчетливее видится идея о невозможности эффективного реформирования общества без соответствующей подготовки «управляющих» и «управляемых» кадров.

Становится неоспоримым фактом то, что профессиональное стремление к идеалам и разнообразным стратегическим целям развития организации, осознание реальной обстановки, поведенческие особенности, уровень культуры управления руководящих сотрудников должны быть направлены на перспективу укрепления на определенной ступени национального и мирового рынков, с использованием нанотехнологий организационного и социального управления.

Результаты социологических исследований и практика управления машиностроительными предприятиями подтверждают тот факт, что главным препятствием в процессе перехода к новой управленческой культуре является ограниченное число профессионально подготовленных, обученных и хорошо мотивированных, высококвалифицированных стратегических «вожаков». Необходим стал процесс социально-экономической адаптации, трансформации жизнеустройства общества.

Социально-политические и экономические реформы, проведенные в условиях системного кризиса на стыке веков, нанесли обществу непредсказуемые, негативные, а порой даже и разрушающие социальные нормы и установки последствия. В обществе все большую ценность приобретают молодость и экстремизм, уступая место накопившемуся с годами опыту, точности и предусмотрительности. И если раньше человек, подходящий к пенсионному возрасту или уже достигший его, был уверен в завтрашнем дне, то на сегодняшний день складывается совершенно иная ситуация. Временные и постоянные дезориентации, связанные со сменой социального статуса от самообеспечивающего человека к полностью зависимому от государства (государственных пенсий и пособий), приводят к заметным экономическим утратам как для экономики страны, общества как социального института, так и для каждого конкретного представителя третьего возраста.

Адресность подбора кадров приобретает особую ценность в условиях перехода предприятия к рыночной экономике. Целью кадровой политики предприятий является обеспечение оптимального баланса процессов обновления и сохранения численного и качественного состава кадров в соответствии с потребностями самой организации, специфики ее профессиональной направленности, требованиями действующего законодательства и состоянием рыночной экономики. С увеличением количества пожилых людей неуклонно возрастает и потребность в обеспечении их места в социально-экономической сфере, возможности участвовать в жизни общества посредством трудоустройства и т.д.

Политика, проводимая в интересах граждан старшего поколения, должна учитывать потребности разных возрастных групп и становиться направленной на различные группы членов социума. На сегодняшний день на многих машиностроительных предприятиях, таких как ОАО «Строймаш», ОАО «Тантал» и ОАО «Саратовский подшипниковый завод» возникает необходимость переквалификации трудящихся в предпенсионном возрасте, необходима трансформация отношений пожилых сотрудников и работодателей к трудовой деятельности как таковой и к проблеме выхода на пенсию. Остро встает вопрос о профессиональной ориентации для людей в пожилом возрасте.

Одним из важных звеньев эффективности и конкурентоспособности указанных выше предприятий на экономическом рынке является высокое качество кадрового потенциала, поскольку существует прямая зависимость между социально-экономическими результатами деятельности организации и эффективностью труда управленческого персонала.

Оценка управленческого труда как результат подготовки, профессиональной переподготовки и повышения квалификации кадров в машиностроении в условиях жесткой конкуренции на рынке труда является задачей, обусловленной значительными структурными изменениями в содержании профессионально-трудовой деятельности руководителя.

Без сотрудников вспомогательного персонала не сможет существовать ни одна организация. Без высококвалифицированных специалистов, накопивших свой профессиональный опыт с годами, ни одна организация не сможет выжить и достичь планируемых вершин. Бесспорно, что трудовые ресурсы, относящиеся к социально-экономической категории сотрудников третьего возраста, являются одним из важнейших приоритетов деятельности предприятия.

Вместе с тем, если руководители как высшего, так и низшего звена не имеют необходимого опыта, не понимают специфики управления трудовыми ресурсами, его механизма, возможностей, недостатков и рисков, то предприятие не может полноценно функционировать. Именно поэтому важно, чтобы все руководители знали и хорошо ориентировались в стратегиях управления персоналом.

В процессе формирования кадровой политики предприятий необходимо согласование следующих целей:

- разработка и внедрение общих принципов кадровой политики, определение приоритетных целей;
- учетно-штатная политика – прогнозирование и расчет потребности в профессиональных и вспомогательных кадрах;
- формирование структуры профессионально-трудовых штатов;
- информационная поддержка кадровых передвижений и вакансий;

– мониторинг проведенной деятельности;

Квалифицированные кадры – основа современного инновационного предприятия. Для адаптации к современным изменяющимся социально-экономическим условиям необходимо поддерживать, стремиться сохранить на предприятиях уже имеющихся специалистов, регулярно повышая их квалификацию. В качестве решения поставленной задачи возможна организация курсов повышения квалификации на предприятиях для своих сотрудников.

Цель кадровой политики на предприятиях машиностроения состоит в обеспечении предприятия высококвалифицированным персоналом, необходимым для непрерывного совершенствования эффективности системы менеджмента качества выполняемой работы и улучшение качества выпускаемой продукции.

Человек, обладающий необходимым профессиональным опытом, становится главным фактором, поскольку выполняет работу, подает идеи. И благодаря именно человеческому фактору существует корпорация.

Рассматриваемые предприятия заинтересованы в повышении своей конкурентоспособности, что требует жесткого выбора как высококвалифицированных технологий, так и наиболее способных работников, среди которых чаще всего и оказываются сотрудники третьего возраста. Чем выше уровень профессиональной квалификации работников с точки зрения совокупности его профессиональных знаний, умений, навыков, опыта, способностей и мотивации к труду, тем быстрее совершенствуется производство и продуктивнее используется материальный фактор организации.

Подбор персонала для выполнения определенного вида работ наиболее ответственный этап в управлении организаций, так как управленческие ошибки обходятся слишком дорого. Умение нанимать на работу наиболее подходящих людей, правильно дифференцируя их по возрасту, профессионально-деловым способностям является очень важным качеством руководителя. Необходимо отметить, что подбор персонала – это постоянная многоэтапная, требующая много времени и сил работа. Устанавливаемые строгие требования к подбору персонала на машиностроительных предприятиях позволяют им не только выявить лучших специалистов, но и заставить тех, кто уже работает, соответствовать высоким стандартам, предъявляемым к персоналу.

Первым этапом на пути к тому, чтобы сделать труд сотрудника как можно более производительным, является профессиональная ориентация и социальная адаптация в коллективе. Если руководство заинтересовано в процветании предприятия, в успехе сотрудника на новом рабочем месте, оно должно рассматривать организацию как общественную систему, а каждого из работников как личность.

Важным условием для быстрой адаптации вновь принятых сотрудников и перемещаемых внутри предприятия на производстве является система подготовки, подбора, переквалификации, поддержания и повышения профессионального уровня. Успешно выбранная стратегия развития кадров способствует созданию мощного рабочего капитала. Положительной тенденцией должен стать рост производительности труда, а значит и увеличение ценности кадровых ресурсов организации.

К моменту наступления пенсионного возраста подавляющее большинство людей достигает максимально возможных для них (исходя из индивидуальных возможностей) образовательного, профессионально-квалификационного должностного и материального уровней. К этому времени человек владеет высоким профессиональным мастерством, пользуется заслуженным авторитетом, престижем, уважением среди коллег.

Чем выше служебное положение, статус и квалификация, глубже разностороннее и ответственнее содержание труда, больше возможностей для творческого поиска, тем решительнее отвергается переход к пенсионному образу жизни и на более поздние сроки переносится момент окончательного ухода на пенсию. Большинство работающих пенсионеров составляют те, кто продолжает работать после достижения пенсионного возраста без перерыва. Продолжение работы как альтернатива уходу на пенсию означает для них временное сохранение прежнего социального положения и образа жизни.

Проблема эффективного формирования и совершенствования квалификации современных руководителей находится в центре внимания экономических и социальных наук и включает целый комплекс взаимосвязанных вопросов экономики труда, социологии управления, психологии личности, экономической социологии, управленческой культуры, и ее качественное решение возможно только на основе интеграции результатов междисциплинарных наработок в рамках экономики труда.

**Петрова Жанна Викторовна** –  
аспирант кафедры «Социология»  
Саратовского государственного технического университета

## ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

---

УДК 94(470)

Г.В. Лобачева, А.К. Карабут

### МЕТОДОЛОГИЯ ИСТОРИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ

*Анализируются современные концепции исторического познания, подчеркивается общность методологических принципов изучения реальности, выявляются проблемы субъективной интерпретации исторических явлений, подчеркивается адекватность исторических исследований современному уровню научного знания.*

G.V. Lobacheva, A.K. Karabut

### METHODOLOGY OF THE HISTORICAL KNOWLEDGE: NEW APPROACHES

*The modern conceptions of the historical knowledge are analyzed, the community of the methodological principles of the study of the reality is emphasized, the problems of subjective interpretation of the historical occurrences are revealed, the adequacy of historical studies by modern standard of the scientific knowledge is emphasized.*

Любой исследователь исходит из сложившегося набора априорных убеждений, фундаментальных методологических установок и руководствуется в своей деятельности определенной парадигмой, то есть набором убеждений, ценностей и техник, разделяемых научным сообществом, к которому он себя причисляет [1]. В настоящее время наиболее продуктивным является интегрирующий взгляд на естественные и социальные процессы, поиск их общих закономерностей. Центральные тезисы данной парадигмы – признание процессуальности бытия, целостности мира, предстающего как единство многообразия отношений, «хрупкости» Вселенной.

Историческая наука исследует в ретроспективе процессы самоорганизации общества, то есть образования, функционирования и распада соответствующих структур в неравновесной нелинейной, сложной, открытой системе. Важными методологическими посылами является признание того, что, во-первых, любая система непрерывно изменяется, во-вторых, в зависимости от параметров системы возможны несколько путей ее эволюции, в-третьих, протекающие в подсистемах данной системы процессы имеют кооперативный характер, в-четвертых, система как целое не является суммой частей, она качественно иная, с присущими ей внутренними свойствами, которых нет у «частей» [2]. Для системы характерна как определенная внутренняя упорядоченность в виде циклических, ритмических процессов, так и неустойчивый критический режим. Механизм отрицательной обратной связи компенсирует возникающие рассогласования или отклонения от заданного состояния системы, положительная обратная связь приводит к неустойчивости, стимулирует изменения. Социум как система обладает универсальным свойством – существует функциональное взаимодействие двух сопряженных процессов аналитического и синтетического типа; последовательное доминирование аналитических или синтетических процессов создает колебательный режим.

Система как соразмерность частей некоего гармонического целого, эволюционируя до определенной критической границы, безразлична к количественным изменениям, но в момент пересече-



ния границы происходит гибель данного качества. В рамках синергетического подхода сформулировано понятие о бифуркационной точке, когда флуктуация параметра системы обуславливает случайный выбор ее движения по одному из возможных путей эволюции [2]. Переход из одного состояния системы в другое происходит резко и скачкообразно, существовавший порядок разрушается. Выбор пути эволюции определяется случайно в момент неустойчивости. Через хаос осуществляется связь разных уровней организации системы и переход к новому упорядоченному состоянию. Можно говорить о присущей социальным системам фазовой динамике, то есть существовании особого цикла между неадаптивными тенденциями к изменению и адаптивными тенденциями к сохранению.

Данная парадигма не может быть чем-то иным, кроме познавательной реконструкции. Приходится признать, что свести все процессы к универсальной схеме нельзя, и инвариантные, базисные истины для объектов различных классов отсутствуют [3]. Но в рамках этой парадигмы возможно плодотворное сосуществование социально-экономического подхода и социокультурного понимания истории, представления о цикличности истории и формационного взгляда на нее. Можно говорить об историческом процессе как «резюмирующем векторе, равнодействующей огромного количества тенденций, факторов и событий» [4], и как ломаной линии этногенеза, «состоящей из многих зигзагов, взаимно компенсирующихся на длинных отрезках времени» [5]. История представляется целостным потоком общественных изменений, охватывающим весь спектр человеческого существования, процессом развития и смены взаимосвязанных состояний прошлого в жизни народа, страны, цивилизации. Можно представить историю и как область единичных событий, в которых существуют и через которые проявляются общие и особенные черты социальной организации.

Любое единичное событие содержит в себе типические признаки, обладающие разной степенью общности. Исторический процесс невозможно редуцировать к феноменологическому пласту конкретных, не воспроизводимых событий. Одно и то же явление выступает как уникальное, неповторимое или же типическое, повторяющееся в зависимости от взятого аспекта рассмотрения. За уникальным, единичным событием просматриваются определенные «структуры», в которых воплощены устойчивые, повторяющиеся характеристики. Исторические ситуации принципиально не воспроизводимы, но неповторяемость связана с существенными, наиболее важными и характерными явлениями. Принципиальное значение имеет и то, что социальные системы создавались и поддерживались людьми, то есть «единичными» субъектами.

Ю.М. Лотман выделил процессы двух родов. Первые обусловлены спонтанными законами и носят неличностный характер, поскольку вовлеченные в них люди лишены выбора. Вторые совершаются через сознание людей. Когда общественная система попадает в точку бифуркации, «в действие вступают интеллектуальные способности человека, дающие ему возможность осуществить выбор» [6]. Личность со свойственной ей, сформированной культурным наследием палитрой воззрений, жизненным опытом, логическим размышлением и интуитивным вдохновением вступает во взаимодействие с миром, воздействуя на него. По мнению исследователей, подобное «физическое и психологическое взаимодействие сознания с окружающим его физическим миром приводит к тонким эффектам и порождает процессы, которые в ряде случаев, по-видимому, не соответствуют фундаментальным научным понятиям о пространстве, времени и причинности» [7].

Поведение людей, будучи индивидуальным, на определенном этапе при условии осознания социально значимых целей приобретает общую направленность. Этот процесс имеет вероятностный характер, поскольку в действительности, в силу ее сложности, динамичности, противоречивости и многомерности, имеется несколько возможных вариантов развития. Социальное действие детерминруется субъективным фактором.

Одна из отличительных черт современного гуманитарного знания – субъективизация. Субъект, т.е. исследователь, выстраивает иерархию представлений о мире и описывает ту часть действительности, которая им признается наиболее существенной. Массивы информации, ее избыточность, быстрое устаревание и обесценивание в эпоху информационного общества обуславливает плюрализм исследовательских интерпретаций, придавая понятию «научная истина» относительный характер. Идея А. Шопенгауэра о роли субъекта в ментальном конструировании, концепции «социального конструирования реальности» П. Бергера и Т. Лукмана, «множественных реальностей» А. Шюца, теории волнового и циклического развития, «постистории», тезауруса на первый план выдвигают человека с его ценностями, субъективной картиной мира [8, 9]. Исследователь, историк в первую очередь руководствуется своими представлениями, конструирует историческую реальность, достраивая и струк-

турируя информацию. В этом своем качестве историческое исследование является инструментом формирования шкалы ценностей современного общества. Однако аксиологическая проблематика не получила должного методологического осмысления в исторической науке, продолжая оставаться предметом дискуссии философов, социологов и культурологов.

Как диаметрально противоположный подход можно расценивать теорию когнитивной истории. Понятия макрообъекта исторической науки (совокупность созданных человеком интеллектуальных продуктов), информационной среды, критика традиционного нарративного (описательного) подхода и релятивистских доктрин открывает новые перспективы для исторического исследования, позволяя применять постулаты теории информации, структурно-функциональный подход. Доказательность и эмпирически верифицируемые результаты позиционируются как обязательные требования к историческому исследованию как к строго научному [10].

Понимание исторического развития как многофакторного процесса определяет необходимость сочетания различных подходов к изучению объекта. С одной стороны, необходимы широкие синтетические построения и глобальные объяснительные схемы, с другой стороны, основой таких построений может служить анализ индивидуальной интерпретации экономических, политических, идеологических, культурных запросов общества, осмысление поведения и мотивов действия одного или группы индивидов. Продуктивным представляется уяснение взаимосвязи исследуемого феномена с социальным и личностным контекстом, наблюдение за взаимодействием субъектов исторического процесса в меняющейся ситуации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гроф С. За пределами мозга / С. Гроф. М.: Изд-во Трансперсонального ин-та, 1993. С. 20.
2. Евин И.А. Синергетика искусства / И.А. Евин. М., 1993. С. 20.
3. Пригожин И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, А. Стенгерс. М.: Прогресс, 1986. С. 346.
4. Бабашкин Вл. Крестьянский менталитет: наследие России царской в России коммунистической / Вл. Бабашкин // *Общественные науки и современность*. 1995. № 3. С. 99-110.
5. Гумилев Л.Н. Древняя Русь и Великая Степь / Л.Н. Гумилев. М.: Товарищество «Клышников, Комаров и К<sup>о</sup>», 1992. С. 406.
6. Лотман Ю.М. Клио на распутье / Ю.М. Лотман // *Избранные статьи: в 3 т.* Таллинн: Александра, 1992. Т. 1. С. 467, 469.
7. Джан Роберт Г. Границы реальности. Роль сознания в физическом мире / Г. Джан Роберт, Дж. Данн Бренда. М.: Объединенный институт высоких температур РАН, 1995. С. 9.
8. Луков Вал. Тезаурусы. Субъективная организация гуманитарного знания / Вал. Луков, Вл. Луков. М.: Изд-во Нац. ин-та бизнеса, 2008. 745 с.;
9. Костина А.В. Тезаурусный подход как новая парадигма гуманитарного знания / А.В. Костина // *Обсерватория культуры*. 2008. № 5. С. 102-109.
10. Медушевская О.М. Теория и методология когнитивной истории / О.М. Медушевская. М.: РГГУ, 2008. 358 с.

**Лобачева Галина Викторовна** –  
доктор исторических наук, профессор,  
заведующая кафедрой «История Отечества и культуры»  
Саратовского государственного технического университета

**Карабут Анастасия Константиновна** –  
аспирант кафедры «История Отечества и культуры»  
Саратовского государственного технического университета

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. Статья, представляемая в редакцию журнала «Вестник СГТУ», должна быть тщательно отредактирована и распечатана в одном экземпляре через 1 интервал на белой бумаге формата А4, поля: верхнее, нижнее, левое, правое – 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12. Одновременно текст статьи представляется на диске в формате текстового редактора «MS Word 97» или по электронной почте [vestnik@sstu.ru](mailto:vestnik@sstu.ru).

2. Статья должна обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать четкие выводы.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности:

- инициалы и фамилии авторов,
- полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные),
- краткая (5-7 строк) аннотация (курсив),
- ключевые слова.

Далее авторы, название статьи, аннотация и ключевые слова повторяются на английском языке. Затем идет текст самой статьи и список литературы, который повторяется на английском языке.

Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны. Сведения об авторах также повторяются на английском языке.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий; объем обзора – 25 страниц, 10 рисунков; объем краткого сообщения – не более 3 страниц, 2 рисунка.

Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров «Excel», «Quattro Pro», «MS Graph». Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул **Microsoft Equation 3.0**. Каждая формула должна иметь номер.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Список литературы должен быть оформлен по ГОСТ 7.1-2003 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

8. Специалисты в технических отраслях к статье прилагают экспертное заключение.

9. Рукопись статьи рецензируется ведущим ученым в данной области, как правило, доктором наук.

10. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

11. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

12. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются, рукописи и диски авторам не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

13. Для публикации и своевременной подготовки журнала необходимо заполнить регистрационную карту участника, представляемую на отдельном бумажном носителе и в электронном виде.

14. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

**Регистрационная карта участника**

<b><u>РЕГИСТРАЦИОННАЯ КАРТА АВТОРА, ПУБЛИКУЮЩЕГОСЯ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СГТУ»</u></b>		
Фамилия	Имя	Отчество
Полное название статьи		
Ученая степень	Ученое звание	Должность с указанием кафедры, отдела, лаборатории
Электронная почта	Служебный телефон/факс	Домашний адрес и телефон
Наименование направляющей статью организации		
Отрасль научной статьи		

---

**РУБРИКИ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК СГТУ»**

---

- Проблемы естественных наук
- Машиностроение
- Новые материалы и технологии
- Электроника, радиотехника и приборостроение
- Энергетика и электротехника
- Автоматизация и управление
- Информационные технологии
- Архитектура и строительство
- Экология
- Экономика
- Социальные проблемы современности
- Гуманитарные науки
- Юбилеи