

**ВЕСТНИК  
САРАТОВСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
2006**

**№ 3 (14)  
Выпуск 1**

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.  
Выходит один раз в квартал  
Август 2006 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 ученой степени  
доктора наук*

**Главный редактор** д.т.н., профессор Ю.В. Чеботаревский  
**Зам. главного редактора** д.э.н., профессор В.Р. Атоян  
**Ответственный секретарь** д.т.н., профессор А.А. Игнатъев

**Редакционный совет:** д.э.н. В.Р. Атоян (заместитель председателя), 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.ф.-м.н. Л.Ю. Коссович, д.т.н. И.А. Новаков, д.т.н. А.Ф. Резчиков, д.т.н. Ю.В. Чеботаревский (председатель), д.ф.-м.н. Ян Аврейцевич (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. А.И. Андриющенко, д.т.н. Ю.С. Архангельский, д.ф.н. А.С. Борщов, 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.т.н. В.И. Лысак, д.т.н. В.Н. Лясников, д.т.н. В.М. Седелкин, д.социол.н. А.Ю. Слепухин, д.т.н. М.А. Щербаков.

Редактор О.А. Панина  
Компьютерная верстка Ю.Л. Жупиловой  
Перевод на английский язык А.М. Руст

Адрес редакции:  
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77  
Телефон: (845 2) 52 74 02  
E-mail: vestnik @ sstu. ru; vra @ sstu. ru  
http://dni. sstu. ru/vestnik.nsf  
Факс: (845 2) 50 67 40

Лицензия ИД № 06268 от 14.11.01  
Подписано в печать 30.08.06  
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.  
Усл. печ. л. 26,0 Уч.-изд. л. 25,0  
Тираж 500 экз. Заказ 373  
Отпечатано в РИЦ СГТУ,  
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

**Подписной индекс 18378**

(каталог «Газеты. Журналы» на 2-е полугодие 2006 г. Дополнение № 1)

ISBN 5-7433-1704-6

© Саратовский государственный  
технический университет, 2006

**VESTNIK  
SARATOV  
STATE  
TECHNICAL  
UNIVERSITY**

**2006**

**№ 3 (14)  
Edition 1**

Scientific Journal

Since 2003  
*Once in a quarter*  
August 2006

*This journal is included into the list of the leading reviewed magazines and scientific periodicals approved by the Presidium of the HAC, Ministry of Education and Science of Russian Federation. Major scientific results of dissertations for the scientific degree competition, Doctor of Science, are published here.*

<b>Editor-in-chief</b>	Doctor of Technical Sciences, Pr. Y.V. Chebotarevsky
<b>Editor-in-chief assistant</b>	Doctor of Economics, Pr. V.R. Atoyan
<b>Executive secretary</b>	Doctor of Technical Sciences, Pr. A.A. Ignatyev

**Drafting committee:** Pr. V.R. Atoyan (Vice of the Chairman), 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. L.Y. Kossovich, Pr. I.A. Novakov, Pr. A.F. Rezhnikov, Pr. Y.V. Chebotarevsky (the Chairman), Pr. Yan Avreytsevich (Poland), Pr. Ulli Arnold (Germany), Pr. Anthony Merser (UK), Pr. E. D'Sousa Ferreira (Portugal), Pr. T. Chermak (Czech Republic), Pr. Y.V. Shlenov.

**Editorial board:** Pr. K.P. Andreychenko, Pr. A.I. Andryushenko, 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. V.I. Lysak, Pr. V.N. Lyasnikov, Pr. V.M. Sedelkin, Pr. A.Y. Slepukhin, Pr. M.A. Sherbakov.

Editor O.A. Panina  
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; vra @ sstu. ru  
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>  
Fax: +8452/50-67-40

Licence ID № 06268 of issue: 14.11.01  
Signed for publishing: 30.08.06  
Format 60×84 1/8 Paper offset.  
Apr. tp. l. 26,0 Acc.-pbl. l. 25,0  
Edition 500 psc. Order 373  
Printed in EPC of SSTU,  
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054, Russia

ISBN 5-7433-1704-6

© Saratov State Technical University, 2006

СОДЕРЖАНИЕ

**ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**Галаев А.С.** Алгебры голономии лоренцевых многообразий.....5  
**Ковырягин М.А.** Постановка задач по определению напряженно-деформированного состояния двухсвязных подкрепленных пластин в виде, удобном для регулирования .....9  
**Кузнецов О.Р.** Расчет прямых многострингерных призматических оболочек методом Бубнова – Галеркина с учетом физической нелинейности при конечных перемещениях.....14  
**Павлов А.Н., Захарова Н.Б., Ляшенко А.В., Егорова Е.А.** Экспериментальное исследование воздействия стационарных магнитных полей на эритроциты крови .....21  
**Панкратов А.Н., Ефанова В.В., Васильченко Н.И., Федотова О.В.** Модель переходного слоя короткозамкнутой системы литий – органический полупроводник.....26  
**Фирстов В.Е.** Семантическая модель и оптимизация при построении и распространении математического знания .....34  
**Шиндяпин Г.П., Матутин А.А.** Особенности нелинейной рефракции ударной волны.....44

**НАДЕЖНОСТЬ МАШИН**

**Бочкарев П.Ю., Шалунов В.В.** Модель группирования технологического оборудования в соответствии с диапазоном и видом обрабатываемых поверхностей .....49  
**Боровских В.Е., Боровских У.В., Буцынский В.А.** Опыт оценки ресурса несущих систем транспортных машин .....55  
**Бржозовский Б.М., Мартынов В.В., Янкин И.Н., Бровка М.Б.** Стабилизация динамического состояния станка как основа решения задач повышения точности механической обработки деталей .....61  
**Королев А.В., Крайнов С.С.** Теоретико-вероятностная модель процесса эксцентрикового суперфиниширования .....70  
**Королев А.В., Чеботаревский Ю.В.** Вероятностные параметры технологического разрушения твердых тел .....76  
**Кулаков А.Т., Денисов А.С.** Нестабильность зазоров в шатунных подшипниках из-за образования прогиба вкладышей .....83  
**Павлов А.А., Виноградов М.В.** Точностные показатели отечественного и зарубежного парка прецизионных металлорежущих станков.....92  
**Плотников А.Л., Крылов Е.Г.** Оценка работоспособности сборного многолезвийного твердосплавного инструмента на фрезерных станках с ЧПУ .....97

**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

**Барабанов С.Н., Есин А.А., Серянов Ю.В.** Оптимизация технологии получения композиционного оксид-полимерного покрытия на основе порошка «Пигма П-201» .....101  
**Вольнский В.В.** Способы переработки электродов никель-кадмиевых аккумуляторов .....104  
**Данилова Т.В.** Теоретическое и экспериментальное исследование процесса формирования изображения в фотослоях .....112  
**Попова С.С., Ченцова Е.В.** Кинетические закономерности электровыделения цинка на медном электроде.....117  
**Трофимова О.А., Соколова Т.Н., Конюшков Г.В.** Формирование отверстий в пирографите излучением лазера на алюмо-иттриевом гранате .....121

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ**

**Васин М.П., Горбунов В.В., Игнатьев С.А.** Адаптивное управление процессом шлифования колец высокоточных подшипников .....129  
**Игнатьев А.А., Бахтеев А.Р.** Автоматизация распознавания дефектов шлифованных деталей в системе мониторинга технологического процесса производства подшипников.....136

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Ушаков В.А., Дрогайцев В.С.** Формальный подход к построению на знаниях систем управления производственной деятельностью и развитием предприятий.....143

**ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

**Беспалов Н.Н., Голембиовский Ю.М., Байбиков М.Н.** Путь повышения надежности силовых тиристоров, использующихся при высокой скорости нарастания тока в открытом состоянии .....154

**АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО**

**Осиновская В.А.** Транспортный поток как динамическая характеристика воздействия на автомобильную дорогу .....160

**ЭКОНОМИКА**

**Богданов И.А., Плотников А.П.** Инновационные подходы к формированию логистического сервиса на предприятиях приборостроения .....164  
**Курбатова Е.С., Шикина Н.И.** Формирование логистической системы и информационного запаса результатов научной и научно-технической деятельности образовательного учреждения .....171  
**Курмакаева Е.Ш.** Дополнительные источники инвестиций в системе воспроизводства основного капитала предприятий .....176  
**Распопова М.А.** Потребность в инвестициях в инновационное развитие и их эффективность .....180  
**Солодяшкіна Ю.Е.** Концептуальный подход к организации эффективного процесса управленческого консалтинга .....188

**ГУМАНИТАРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА**

**Быченко Ю.Г., Горбунова Н.В.** Особенности воспроизводства человеческого капитала в условиях современной России .....192  
**Демченко Г.Ю.** В диалоге с микрокосмосом романтизма .....204  
**Кром И.Л.** Проблемы формирования профессиональной занятости инвалидов трудоспособного возраста в российской провинции.....206  
**Поповская А.К.** Уполномоченный по правам человека как институт несудебной защиты прав человека в России .....209

**ЮБИЛЕИ**

**Юрий Викторович Чеботаревский.** К 60-летию со дня рождения .....215  
**Николай Михайлович Советов.** К 80-летию со дня рождения .....217  
**Машиностроительный факультет:** этапы становления и развития .....219

Отформатировано: Автор, По ширине, Отступ: Слева: 0 см, Выступ: 1 см, Справа: 0,5 см, Междустр.интервал: множитель 0,95 ин, Поз.табуляции: 17 см, по правому краю, Заполнитель: ...

## CONTENTS

### PROBLEMS OF NATURAL SCIENCES

<b>Galaev A.S.</b> Holonomy algebras of Lorentzian manifolds.....	5
<b>Koviriagin M.A.</b> Assigned tasks on determination of stressed and deformed condition of two-connected supported plates in the way convenient to regulate.....	9
<b>Kuznetsov O.R.</b> Straight closed multispan prismatic shells calculation by Bubnov – Galerkin's method taking into consideration the geometrical and physical nonlinearity.....	14
<b>Pavlov A.N., Zaharova N.B., Lyashenko A.V., Egorova E.A.</b> Experimental research of stationary magnetic fields effect on the red corpuscles.....	21
<b>Pankratov A.N., Efanova V.V., Vasilchenko N.I., Fedotova O.V.</b> Transition layer model of short-circuit system lithium organic semiconductor .....	26
<b>Firstov V.E.</b> The semantic model and optimization through mathematical knowledge formation and propagation.....	34
<b>Shindyapin G.P., Matutin A.A.</b> A shock wave nonlinear refraction features .....	44

### MACHINE RELIABILITY

<b>Bochkarev P.Y., Shalunov V.V.</b> Technological equipment grouping model according to a range and aspect of treated surfaces .....	49
<b>Borovskih V.E., Borovskih U.V., Butsinisky V.A.</b> Resource experience estimation of transport machine carrying systems .....	55
<b>Brzhozovskiy B.M., Martynov V.V., Yankin I.N., Brovkova M.B.</b> Machine tool dynamic condition stabilization as a basis of increase accuracy problems decision of details machining .....	61
<b>Koroliov A.V., Krajnov S.S.</b> Probability-theoretical model of eccentric super finishing process .....	71
<b>Koroljov A.V., Chebotarevsky Yu.V.</b> Firm bodies' technological destruction probabalistic parameters.....	77
<b>Kulakov A.T., Denisov A.S.</b> Instability of the splits in connecting rod bearings due to formation of the inlayer bent .....	83
<b>Pavlov A.A., Vinogradov M.V.</b> Parameters of accuracy of domestic and foreign park of precision metal-cutting machines .....	92
<b>Plotnikov A.L., Krylov E.G.</b> Evaluation of serviceability assembled multiedged hard alloy cutting tool on milling machines with numerical control .....	97

### NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES

<b>Barabanov S.N., Yesin A.A., Serjanov J.V.</b> Oxide-polymeric covering composite reception optimization technology on the basis of a powder «Pigma P-201».....	101
<b>Volinsky V.V.</b> Ways of electrodes processing of nickel-cadmium storage batteries .....	104
<b>Danilova T.V.</b> Theoretic and experimental study of photographic image formation.....	112
<b>Popova S.S., Chenzova E.V.</b> Kinetic regularities of zink electroallocation on copper electrode.....	117
<b>Trofimova O.A., Sokolova T.N., Konyushkov G.V.</b> Formation of holes in pyrographite by the YAG laser radiation.....	122

### AUTOMATION AND MANAGEMENT

<b>Vasin M.P., Gorbunov V.V., Ignatyev S.A.</b> High-precision bearing rings rinding adaptive control .....	129
<b>Ignatyev A.A., Bahteev A.R.</b> Polishing details defects recognition automation in the system of monitoring of bearing production technological process .....	137

### INFORMATION TECHNOLOGIES

<b>Ushakov V.A., Drogaitsev V.S.</b> The formalized approach to construction on knowledge of control systems of production activity and enterprises development.....	143
--	-----

### POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING

<b>Bespalov N.N., Golembiovskiy J.M., Bajbikov M.N.</b> Ways of power thyristors reliability increase, used at high speed of increase current in the open condition.....	154
--	-----

### ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

<b>Osinovskaya V.A.</b> Transport flow as a dynamic characteristic of an influence on a highway .....	160
---	-----

### ECONOMICS

<b>Bogdanov I.A., Plotnikov A.P.</b> Innovational approaches to formation logistic service on enterprises of instrument-marking .....	164
<b>Kurbatova E.S., Shikina N.I.</b> Educational institutions' scientific and scientific and technological activity informational reserve and logical systems formation .....	171
<b>Kurmakayeva E.Sh.</b> The additional sources of the investments in the system of the fixed capital reproduction of the enterprises .....	176
<b>Raspopova M.A.</b> The necessity of investments into innovation development and the investments efficiency .....	181
<b>Solodiashkina J.E.</b> Conceptual approach to organisation of efficient process of management consulting .....	188

### HUMANITARIAN PROBLEMS OF MODERN SOCIETY

<b>Bychenko U.G., Gorbunova N.V.</b> Peculiarities of human capital reproduction in modern Russia conditions .....	192
<b>Demchenko G.Yu.</b> In dialog with the micro-space of romantizm .....	204
<b>Krom I.L.</b> Problems of formation of invalids' professional occupation at the giving age in russian province .....	206
<b>Popovskaja A.K.</b> The Commissioner on human rights as institute of non-judicial protection of human rights in Russia.....	209

### JUBILEES

<b>Jury Victorovich Chebotarevsky.</b> To the 60-th anniversary.....	215
<b>Nikolaj Michailovich Sovetov.</b> To the 80-th anniversary .....	217
<b>Mashin building department:</b> stages of founding and development.....	219

---

**ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

---

УДК 514.764.214

А.С. Галаев

**АЛГЕБРЫ ГОЛОНОМИИ ЛОРЕНЦЕВЫХ МНОГООБРАЗИЙ**

*Проблема классификации алгебр голономии псевдоримановых многообразий является открытой. Классификация алгебр голономии римановых многообразий – хорошо известный классический результат. В настоящей работе приводится классификация алгебр голономии лоренцевых многообразий. Для каждой алгебры голономии строится пример полиномиальной метрики.*

A.S. Galaev

**HOLONOMY ALGEBRAS OF LORENTZIAN MANIFOLDS**

*The problem of classification of holonomy algebras for pseudo-Riemannian manifolds is known. The classification of holonomy algebras for Riemannian manifolds is a well-known classical result. This article presents the classification of holonomy algebras of Lorentzian manifolds. An example of polynomial metric for each holonomy algebra is constructed here.*

Группа голономии псевдориманова многообразия  $(M, g)$  в точке  $x \in M$  есть подгруппа Ли псевдоортогональной группы  $O(T_x M, g_x)$ , порожденная параллельными переносами вдоль всех кусочно-гладких петель в точке  $x$ . Соответствующая подалгебра алгебры Ли  $\mathfrak{so}(T_x M, g_x)$  называется алгеброй голономии многообразия  $(M, g)$  в точке  $x$ . Группы и алгебры голономии позволяют находить параллельные тензорные поля, параллельные распределения, параллельные и киллинговы спинорные поля на многообразии и дают информацию о тензоре кривизны и некоторых других объектах на многообразии. Поэтому возникает проблема классификации алгебр голономии псевдоримановых многообразий. Эта проблема была решена полностью только для римановых многообразий [1]. В настоящей работе приводится решение этой проблемы для лоренцевых многообразий.

Алгебру голономии  $n+2$ -мерного лоренцева многообразия можно отождествить с подалгеброй  $\mathfrak{g} \subset \mathfrak{so}(1, n+1)$  ( $n \geq 0$ ). Из результата М. Берже [1] следует, что единственной неприводимой (не имеющей собственных инвариантных подпространств в пространстве Минковского  $\mathbb{R}^{1, n+1}$ ) алгеброй голономии лоренцева многообразия является вся  $\mathfrak{so}(1, n+1)$ . Теорема Ш. Ву ([1]) позволяет рассматривать только слабо неприводимые, не являющиеся не-

приводимыми, алгебры голономии лоренцевых многообразий  $\mathfrak{g} \subset \mathfrak{so}(1, n+1)$  (всякая такая алгебра  $\mathfrak{g}$  не имеет собственных инвариантных невырожденных подпространств в  $\mathbb{R}^{1, n+1}$ , но имеет инвариантную изотропную прямую  $l \subset \mathbb{R}^{1, n+1}$ , поэтому  $\mathfrak{g}$  содержится в параболической подалгебре  $\mathfrak{so}(1, n+1)_l \subset \mathfrak{so}(1, n+1)$ ). Для подалгебры  $\mathfrak{so}(1, n+1)_l \subset \mathfrak{so}(1, n+1)$  имеем разложение Ивасавы

$$\mathfrak{so}(1, n+1)_l = (\mathbb{R} \oplus \mathfrak{so}(n)) \ltimes \mathbb{R}^n. \quad (1)$$

В [2] Л. Берард-Бержери и А. Икемакхен сделали первый шаг к классификации алгебр голономии лоренцевых многообразий. В следующей теореме они получили классификацию слабо неприводимых, не являющихся неприводимыми, подалгебр  $\mathfrak{g} \subset \mathfrak{so}(1, n+1)$ . Напомним, что для всякой подалгебры  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(n)$  имеем  $\mathfrak{h} = \mathfrak{h}' \oplus \mathfrak{z}(\mathfrak{h})$ , где  $\mathfrak{h}'$  – коммутант  $\mathfrak{h}$  и  $\mathfrak{z}(\mathfrak{h})$  – центр  $\mathfrak{h}$ .

**Теорема 1.** *Подалгебра  $\mathfrak{g} \subset \mathfrak{so}(1, n+1)_l$  является слабо неприводимой тогда и только тогда, когда  $\mathfrak{g}$  является алгеброй одного из следующих типов:*

**Тип 1.**  $\mathfrak{g}^{1, \mathfrak{h}} = (\mathbb{R} \oplus \mathfrak{h}) \ltimes \mathbb{R}^n$ , где  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(n)$  – подалгебра;

**Тип 2.**  $\mathfrak{g}^{2, \mathfrak{h}} = \mathfrak{h} \ltimes \mathbb{R}^n$ ;

**Тип 3.**  $\mathfrak{g}^{3, \mathfrak{h}, \varphi} = \{(\varphi(A), A, X) \mid A \in \mathfrak{h}, X \in \mathbb{R}^n\}$ , где  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(n)$  – подалгебра с условием  $\mathfrak{z}(\mathfrak{h}) \neq \{0\}$  и  $\varphi: \mathfrak{h} \rightarrow \mathbb{R}$  – ненулевое линейное отображение со свойством  $\varphi|_{\mathfrak{h}'} = 0$ ;

**Тип 4.**  $\mathfrak{g}^{4, \mathfrak{h}, m, \psi} = \{(0, A, X + \psi(A)) \mid A \in \mathfrak{h}, X \in \mathbb{R}^m\}$ , где  $\mathbb{R}^n = \mathbb{R}^m \oplus \mathbb{R}^{n-m}$  – некоторое разложение,  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(m)$  – подалгебра с условием  $\dim \mathfrak{z}(\mathfrak{h}) \geq n - m$ , а  $\psi: \mathfrak{h} \rightarrow \mathbb{R}^{n-m}$  – сюръективное линейное отображение со свойством  $\psi|_{\mathfrak{h}'} = 0$ .

Подалгебра  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(n)$ , ассоциированная выше со слабо неприводимой подалгеброй  $\mathfrak{g} \subset \mathfrak{so}(1, n+1)_l$ , называется *ортогональной частью* алгебры Ли  $\mathfrak{g}$  и совпадает с проекцией  $\mathfrak{g}$  на  $\mathfrak{so}(n)$  из разложения (1).

Для подалгебры  $\mathfrak{g} \subset \mathfrak{so}(1, n+1)$  рассмотрим пространство

$$\mathbb{R}(\mathfrak{g}) = \{R \in \text{Hom}(\wedge^2 \mathbb{R}^{1, n+1}, \mathfrak{g}) \mid R(u \wedge v)w + R(v \wedge w)u + R(w \wedge u)v = 0, u, v, w \in \mathbb{R}^{1, n+1}\} \quad (2)$$

тензоров кривизны типа  $\mathfrak{g}$ .

**Определение 1.** *Подалгебра  $\mathfrak{g} \subset \mathfrak{so}(1, n+1)$  называется алгеброй Берже, если  $\text{span}\{R(\wedge^2 \mathbb{R}^{1, n+1}) \mid R \in \mathbb{R}(\mathfrak{g})\} = \mathfrak{g}$ .*

Из теоремы Амброза – Зингера [1] следует, что алгебра голономии лоренцева многообразия является алгеброй Берже. Поэтому алгебры Берже можно считать кандидатами в алгебры голономии.

Для всякой подалгебры  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(n)$  определим пространство

$$\mathbb{P}(\mathfrak{h}) = \{P \in \text{Hom}(\mathbb{R}^n, \mathfrak{h}) \mid (P(u)v, w) + (P(v)w, u) + (P(w)u, v) = 0, u, v, w \in \mathbb{R}^n\}, \quad (3)$$

где  $(\cdot, \cdot)$  — скалярное произведение на  $\mathbb{R}^n$ . Мы называем  $\mathbb{P}(\mathfrak{h})$  *пространством слабых тензоров кривизны типа  $\mathfrak{h}$* .

**Определение 2.** *Подалгебра  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(n)$  называется слабой алгеброй Берже, если  $L(\mathbb{P}(\mathfrak{h})) = \mathfrak{h}$ , где  $L(\mathbb{P}(\mathfrak{h})) = \text{span}\{P(u) \mid P \in \mathbb{P}(\mathfrak{h}), u \in \mathbb{R}^n\}$ .*

В [4] мы даем описание пространств тензоров кривизны  $\mathbb{R}(\mathfrak{g})$  для алгебр теоремы 1 с произвольной ортогональной частью  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(n)$  в терминах пространства  $\mathbb{P}(\mathfrak{h})$ . Из этого описания вытекает

**Теорема 2.** *Всякая слабо неприводимая подалгебра  $\mathfrak{g} \subset \mathfrak{so}(1, n + 1)_l$  является алгеброй Берже тогда и только тогда, когда ее ортогональная часть  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(n)$  является слабой алгеброй Берже.*

Следующая теорема, доказанная в [5] Т. Лейстнером, дает классификацию слабых алгебр Берже.

**Теорема 3.** *Всякая подалгебра  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(n)$  является слабой алгеброй Берже тогда и только тогда, когда она является алгеброй голономии риманова многообразия.*

Из теорем 2 и 3 следует, что подалгебра  $\mathfrak{g} \subset \mathfrak{so}(1, n + 1)$  является слабо неприводимой, не являющейся неприводимой, алгеброй Берже тогда и только тогда, когда  $\mathfrak{g}$  сопряжена одной из следующих подалгебр  $\mathfrak{g}^{1, \mathfrak{h}}, \mathfrak{g}^{2, \mathfrak{h}}, \mathfrak{g}^{3, \mathfrak{h}, \varphi}, \mathfrak{g}^{4, \mathfrak{h}, m, \psi} \subset \mathfrak{so}(1, n + 1)_l$ , где  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(n)$  – алгебра голономии риманова многообразия. Чтобы завершить классификацию алгебр голономии лоренцевых многообразий, необходимо для каждой слабо неприводимой, не являющейся неприводимой, алгебры Берже  $\mathfrak{g}$  построить пример лоренцева многообразия с алгеброй голономии  $\mathfrak{g}$ . Приведем соответствующие конструкции.

Рассмотрим произвольную алгебру голономии  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(n)$  риманова многообразия. Будем исходить из того, что  $\mathfrak{h}$  является слабой алгеброй Берже, т.е.  $L(\mathfrak{P}(\mathfrak{h})) = \mathfrak{h}$ . Имеем разложение  $\mathbb{R}^n = \mathbb{R}^{m_0} \oplus \mathbb{R}^{n-m_0}$ , такое, что  $\mathfrak{h}(\mathbb{R}^{n-m_0}) = \{0\}$  и  $\mathbb{R}^{m_0}$  не содержит ненулевых подпространств, на которых действие  $\mathfrak{h}$  тривиально. Значит,  $\mathfrak{h} \subset \mathfrak{so}(m_0)$ . Выберем произвольные линейно независимые элементы  $P_1, \dots, P_N \in \mathfrak{P}(\mathfrak{h})$ , образы которых порождают  $\mathfrak{h}$  как векторное пространство, например, можно взять базис векторного пространства  $\mathfrak{P}(\mathfrak{h})$ . Определим числа  $P_{\alpha ji}^k$  ( $\alpha = 1, \dots, N$ ,  $i, j, k = 1, \dots, m_0$ ) такие, что  $P_\alpha(e_i)e_j = \sum_{k=1}^{m_0} P_{\alpha ji}^k e_k$ . Рассмотрим следующую метрику на  $\mathbb{R}^{n+2}$

$$g = 2dx^0 dx^{n+1} + \sum_{i=1}^n (dx^i)^2 + 2 \sum_{i=1}^{m_0} u^i dx^i dx^{n+1} + f \cdot (dx^{n+1})^2, \quad (4)$$

где

$$u^i = \sum_{\alpha=1}^N \sum_{j,k=1}^{m_0} a_{\alpha jk}^i x^j x^k (x^{n+1})^{\alpha-1}, \quad a_{\alpha ji}^k = \frac{1}{3 \cdot (\alpha-1)!} (P_{\alpha ji}^k + P_{\alpha ij}^k), \quad (5)$$

$a, f$  – некоторая функция.

Для алгебры Ли  $\mathfrak{g}^{3, \mathfrak{h}, \varphi}$  (если она существует) определим числа  $\varphi_{\alpha i} = \frac{1}{(\alpha-1)!} \varphi(P_\alpha(e_i))$  ( $\alpha = 1, \dots, N$ ,  $i = 1, \dots, m_0$ ).

Для алгебры Ли  $\mathfrak{g}^{4, \mathfrak{h}, m, \psi}$  (если она существует) определим числа  $\psi_{\alpha ij}$  ( $\alpha = 1, \dots, N$ ,  $i = 1, \dots, m_0$ ,  $j = m+1, \dots, n$ ), такие, что  $\frac{1}{(\alpha-1)!} \psi(P_\alpha(e_i)) = -\sum_{j=m+1}^n \psi_{\alpha ij} e_j$ .

Если  $f(0) = 0$ , то касательное пространство к  $\mathbb{R}^{n+2}$  в точке 0 можно отождествить с пространством  $\mathbb{R}^{1, n+1}$ . Результат построения можно сформулировать в виде теоремы.

**Теорема 4.** *Алгебра голономии  $\mathfrak{hol}_0$  метрики  $g$  в точке 0 зависит от функции  $f$ , как в таблице.*

*Доказательство.* Так как рассматриваемые метрики – аналитические, то алгебра голономии в точке  $0 \in \mathbb{R}^{n+2}$  порождается операторами

$$R(X, Y)_0, \nabla R(X, Y; Z_1)_0, \nabla^2 R(X, Y; Z_1; Z_2)_0, \dots \in \mathfrak{so}(T_x M, g_x), \quad (6)$$

где  $R$  – тензор кривизны;  $\nabla^r R(X, Y; Z_1; \dots; Z_r) = (\nabla_{Z_r} \dots \nabla_{Z_1} R)(X, Y)$  – его ковариантные производные и  $X, Y, Z_1, Z_2, \dots$  – касательные векторы в точке  $0 \in \mathbb{R}^{n+2}$  [1]. Пользуясь форму-

лой Коссуля [1], можно найти компоненты связности для каждой из метрики теоремы. Далее можно найти тензор кривизны и его ковариантные производные. Имеем

$$\text{pr}_{\text{so}(n)}\left(\nabla^r R\left(\frac{\partial}{\partial x^i}, \frac{\partial}{\partial x^{n+1}}; \frac{\partial}{\partial x^{n+1}}; \dots; \frac{\partial}{\partial x^{n+1}}\right)\right) = P_{r+1}(e_i), \quad (7)$$

$$\text{pr}_{\mathbf{R}}\left(R\left(\frac{\partial}{\partial x^0}, \frac{\partial}{\partial x^{n+1}}\right)\right) = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{(\partial x^0)^2}, \quad (8)$$

$$\text{pr}_{\mathbf{R}}\left(\nabla^{\alpha-1} R\left(\frac{\partial}{\partial x^i}, \frac{\partial}{\partial x^{n+1}}; \frac{\partial}{\partial x^{n+1}}; \dots; \frac{\partial}{\partial x^{n+1}}\right)\right) = \frac{1}{2} \frac{\partial^{\alpha+1} f}{\partial x^0 \partial x^i (\partial x^{n+1})^{\alpha-1}}, \quad (9)$$

$$\text{pr}_{\mathbf{R}^n}\left(\nabla^{\alpha-1} R\left(\frac{\partial}{\partial x^i}, \frac{\partial}{\partial x^{n+1}}; \frac{\partial}{\partial x^{n+1}}; \dots; \frac{\partial}{\partial x^{n+1}}\right)\right) = \frac{1}{2} \sum_{j=m_0+1}^n \frac{\partial^{\alpha+1} f}{\partial x^i \partial x^j (\partial x^{n+1})^{\alpha-1}} e_j, \quad (10)$$

где  $r = 0, \dots, N-1$ ,  $\alpha \geq 0$ ,  $i = 1, \dots, m_0$ ,  $i_1 = m_0 + 1, \dots, n$ . Легко проверить, что другие ковариантные производные тензора кривизны не дают ничего нового. Таким образом, выбор функций  $u^i$ , как в (7), гарантирует нам, что ортогональная часть алгебры голономии  $\mathbf{hol}_0$  совпадает с  $\mathbf{h} \subset \mathbf{so}(n)$  и что  $\mathbf{R}^{m_0} \subset \mathbf{hol}_0$ . Выбор функции  $f$  для алгебр каждого типа ясен из формул (8), (9), (10): мы используем формулу (8) для алгебры типа 1; формулу (9) – для алгебры типа 3; формулу (10) при  $\alpha=0$  для алгебр всех типов; формулу (10) при  $\alpha \geq 0$  для алгебры типа 4. Теорема доказана.

Зависимость алгебры голономии  $\mathbf{hol}_0$  метрики от функции  $f$

$f$	$\mathbf{hol}_0$
$(x^0)^2 + \sum_{j=m_0+1}^n (x^j)^2$	$\mathbf{g}^{1,\mathbf{h}}$
$\sum_{j=m_0+1}^n (x^j)^2$	$\mathbf{g}^{2,\mathbf{h}}$
$2x^0 \sum_{\alpha=1}^N \sum_{i=1}^{m_0} \varphi_{\alpha i} x^i (x^{n+1})^{\alpha-1} + \sum_{j=m_0+1}^n (x^j)^2$	$\mathbf{g}^{3,\mathbf{h},\varphi}$ (если $\mathbf{z}(\mathbf{h}) \neq \{0\}$ )
$2 \sum_{\alpha=1}^N \sum_{i=1}^{m_0} \sum_{j=m_0+1}^n \psi_{\alpha ij} x^i x^j (x^{n+1})^{\alpha-1} + \sum_{j=m_0+1}^m (x^j)^2$	$\mathbf{g}^{4,\mathbf{h},m,\psi}$ (если $\dim \mathbf{z}(\mathbf{h}) \geq n - m$ )

Теперь сформулируем основную классификационную теорему.

**Теорема 5.** *Подалгебра  $\mathbf{g} \subset \mathbf{so}(1, n+1)$  является слабо неприводимой, не являющейся неприводимой, алгеброй голономии лоренцева многообразия тогда и только тогда, когда  $\mathbf{g}$  сопряжена одной из следующих подалгебр  $\mathbf{g}^{1,\mathbf{h}}, \mathbf{g}^{2,\mathbf{h}}, \mathbf{g}^{3,\mathbf{h},\varphi}, \mathbf{g}^{4,\mathbf{h},m,\psi} \subset \mathbf{so}(1, n+1)_l$ , где  $\mathbf{h} \subset \mathbf{so}(n) -$  алгебра голономии риманова многообразия.*

Согласно теореме Ву, всякая алгебра голономии лоренцева многообразия имеет вид:  $\mathbf{h}_1 \oplus \dots \oplus \mathbf{h}_r \oplus \mathbf{g}$ , где  $\mathbf{h}_1, \dots, \mathbf{h}_r$  – неприводимые алгебры голономии римановых многообразий,  $\mathbf{g} = \mathbf{so}(1, k+1)$  или  $\mathbf{g}$  – слабо неприводимая, не являющаяся неприводимой, алгебра голономии лоренцева многообразия.



ЛИТЕРАТУРА

1. Бессе А. Многообразия Эйнштейна / А. Бессе. М.: Мир, 1990. Т. 1. 319 с.; Т. 2. 385 с.
2. Berard-Bergery L. On the Holonomy of Lorentzian Manifolds / L. Berard-Bergery, A. Ikemakhen // Proc. of symposia in pure math. 1993. Vol. 54. P. 27-40.
3. Галаев А.С. Группы движений пространств Лобачевского, группы преобразования подобия евклидовых пространств и группы голономии лоренцевых многообразий / А.С. Галаев // Известия Сарат. ун-та: Математика. Механика. Информатика. 2005. Т. 5, Вып. 1. С. 3-12.
4. Galaev A.S. The spaces of curvature tensors for holonomy algebras of Lorentzian manifolds / A.S. Galaev // Differential Geometry and its Applications. 2005. Vol. 22. P. 1-18.
5. Leistner T. Holonomy and parallel spinors in Lorentzian geometry / T. Leistner. PhD thesis, Humboldt-Universität zu Berlin, 2003. 173 p.

**Галаев Антон Сергеевич** –  
аспирант кафедры «Геометрия»  
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

УДК 539.3

**М.А. Ковырягин**

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХСВЯЗНЫХ  
ПОДКРЕПЛЕННЫХ ПЛАСТИН В ВИДЕ, УДОБНОМ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

*В полуаналитической форме ставятся задачи определения внутренних силовых факторов, нормальных напряжений и перемещений в замкнутых некруговых брусках. С использованием метода малого параметра задачи определения плоского напряженно-деформированного состояния и изгиба двухсвязных некруговых подкрепленных пластин сведены в аналитической форме к ряду задач для круговых областей.*

**М.А. Koviriagin**

**ASSIGNED TASKS ON DETERMINATION OF STRESSED AND DEFORMED  
CONDITION OF TWO-CONNECTED SUPPORTED PLATES IN THE WAY  
CONVENIENT TO REGULATE**

*Intrinsic strings factors problems determination, normal stresses and displacements in noncircular rings in analytical form are considered in this article. The problems of determination state of plane stress and bend two-connected supported plates are accounted in analytical form to series problems for circular scopes with the help of small parameter method.*

В настоящее время все большую актуальность приобретают вопросы управления напряженно-деформированным состоянием и динамическим поведением конструкций, под-

верженных экстремальным воздействиям [1]. Для описания процесса регулирования необходимо получение решения разрешающих уравнений в аналитическом виде. Это позволяет упростить процедуру синтеза регулятора и создать систему активного управления с заданными характеристиками.

Сформулируем в аналитическом виде задачи об определении напряженно-деформированного состояния и изгиба подкрепленных двухсвязных пластин сложного очертания.

**Постановка задач об определении плоского напряженного состояния двухсвязных пластин с подкрепленным краем**

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние некруговых колец переменного поперечного сечения, один из контуров которых описывается уравнениями:

$$x = R_2(\cos \theta + \varepsilon \cos m\theta), \quad y = R_2(\sin \theta - \varepsilon \sin m\theta), \quad (1.1)$$

где  $x, y$  – декартовы координаты;  $R_2, m, \varepsilon$  – постоянные, определяющие форму и размеры контура;  $\theta$  – параметр контура. Примеры таких колец при различных значениях  $m$  изображены на рис. 1.

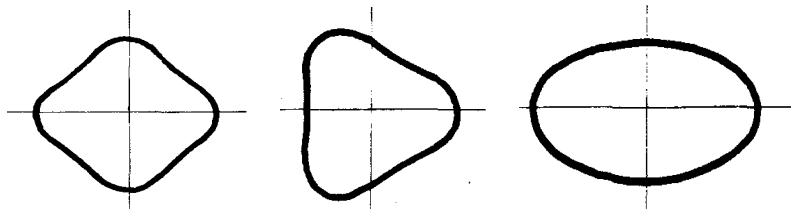


Рис. 1

Они используются в качестве усиливающей жесткость окантовки по одному из контуров в двухсвязных пластинах.

Уравнения равновесия элемента бруса имеют вид [2]:

$$W - i\rho \frac{dW}{ds} = \rho(q + ip), \quad \frac{dM}{ds} - \frac{h}{2} \frac{dN}{ds} - Q = 0, \quad W = N - IQ. \quad (1.2)$$

Здесь  $ds$  – элемент дуги контура бруса;  $N(s), Q(s), M(s)$  – соответственно нормальная и поперечная силы, изгибающий момент, в сечении;  $h(s)$  – ширина сечения бруса в плане;  $\rho$  – радиус кривизны контура бруса;  $q, p$  – внешние усилия, направленные по нормали и касательной к контуру и действующие на единицу длины в срединной плоскости бруса;  $i$  – мнимая единица.

Напряжения, действующие по нормали к поперечному сечению, определяем по формуле [3] для бруса большой кривизны

$$\sigma^{(v)} = \frac{M}{F} \frac{(\rho_v - \rho_n)}{(\rho_u - \rho_n)} + \frac{N}{F}, \quad v = 1, 2, \quad (1.3)$$

где  $\sigma^{(1)}, \sigma^{(2)}$  – соответственно напряжения на наружном и внутреннем контурах;  $F$  – площадь поперечного сечения;  $\rho_n, \rho_u$  – радиусы кривизны соответственно нейтральной и центральной осей бруса;  $\rho_v$  – радиус кривизны наружного ( $v=1$ ) или внутреннего ( $v=2$ ) контуров бруса.

Касательные напряжения в поперечном сечении определяются по формуле сопротивления материалов. Вектор перемещения любой точки контура можно представить [3]:

$$\bar{u} = u\bar{n} + v\bar{\tau}, \quad (1.4)$$

где  $\bar{n}, \bar{\tau}$  – единичные орты, определяющие направление нормали и касательной к контуру. Он связан с величиной относительной деформации в направлении линии контура  $\varepsilon_0$  и углом поворота нормали  $\theta_0$  геометрическим соотношением

$$\frac{d\bar{u}}{ds} = \varepsilon_0 - \theta_0 \bar{n} .$$

Здесь  $\varepsilon_0$  и  $\theta_0$  отыскиваются по формулам

$$\varepsilon_0 = \frac{\sigma}{F} , \quad \theta_0 = \int_0^\varphi \frac{M}{EF(\rho_0 - \rho_H)} d\varphi + C_\theta , \quad (1.5)$$

где  $\sigma$  – напряжения, действующие по нормали к сечению;  $E$  – модуль упругости первого рода;  $\varphi$  – центральный угол;  $C_\theta$  – произвольная постоянная интегрирования.

Так как в общем случае задания контура  $u, v, \bar{n}, \bar{\tau}$  являются функциями  $s$ , то (1.4) можно представить в виде

$$\frac{d\bar{u}}{ds} = \frac{du}{ds} \bar{n} + u \frac{d\bar{n}}{ds} + \frac{dv}{ds} \bar{\tau} + v \frac{d\bar{\tau}}{ds} .$$

На основании формул Серре-Френе

$$\frac{d\bar{n}}{ds} = \frac{\tau}{\rho} , \quad \frac{d\bar{\tau}}{ds} = -\frac{\bar{n}}{\rho}$$

получена следующая система уравнений

$$\frac{du}{ds} - \frac{v}{\rho} = -\theta_0 , \quad \frac{dv}{ds} + \frac{u}{\rho} = \varepsilon_0 . \quad (1.6)$$

## 2. Основные уравнения плоского напряженного состояния двухсвязных пластин с подкрепленным краем

Рассмотрим двухсвязную пластину сложного очертания, например, круглую с центральным некруговым подкрепленным отверстием или некруговую пластинку с подкрепленным краем и круговым отверстием в центре (рис. 2). Некруговой контур задается уравнениями (1.1). Подкрепление представим в виде замкнутого некругового кривого бруса, повторяющего очертания некругового контура. Нагрузку считаем приложенной к круговому контуру и изменяющейся по закону

$$\sigma_r + i\tau_{r\theta} = g_l \cos l\theta + i p_l \sin l\theta , \quad (2.1)$$

где  $l$  – период нагрузки;  $i$  – мнимая единица;  $g_l$  и  $p_l$  – постоянные.

Такая нагрузка имеет математически вид одного из членов ряда Фурье. Нагрузка же самого общего вида может быть представлена в виде тригонометрического ряда Фурье, как сумма нагрузок (2.1) с различными значениями  $l$ . Поэтому, если нам удастся получить решение при нагрузке, которая имеет вид одного из членов ряда Фурье, то задачу об исследовании напряженно-деформированного состояния двухсвязных пластин с подкрепленным краем под действием распределенной нагрузки можно в принципе считать решенной.

Подкрепляющий брус считаем свободным от нагружения. Напряжения и перемещения в пластинке и подкреплявшем брус определяются на основании известных соотношений теории плоского напряженного состояния пластинок и уравнений изгиба некруговых колец [4].

Задача сводится к решению системы дифференциальных уравнений

$$W - i\rho \frac{dW}{ds} = \rho(g_l \cos l\theta + i p_l \sin l\theta), \quad \nabla^2 \nabla^2 F = 0, \quad \frac{dM}{ds} - \frac{h}{2} \frac{dN}{ds} - Q = 0 , \quad (2.2)$$

где  $F$  – функция напряжений в пластине;  $\nabla$  – оператор Лапласа –  $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$ ,

$$W = N - iQ .$$

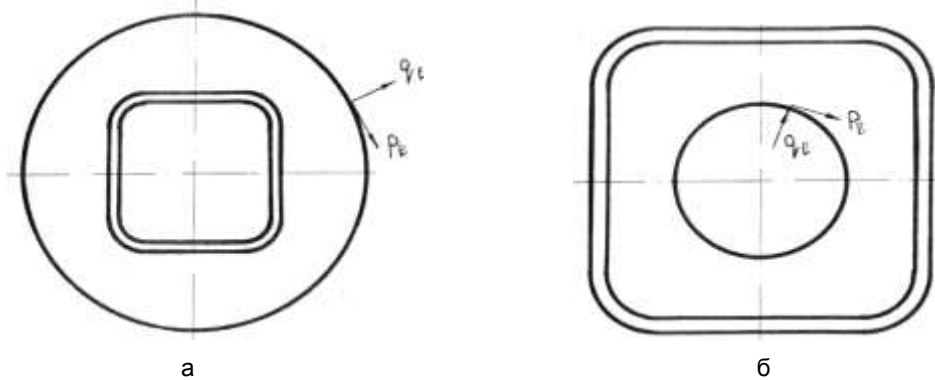


Рис. 2

Пусть  $L_1$  – круговой контур пластинки;  $L_2$  – контур контакта пластинки и ребра. Дифференциальные уравнения для определения проекций перемещений имеют вид (1.6). Решение системы (2.2) должно удовлетворять следующим граничным условиям:

на круговом контуре  $L_1$  условиям (2.1) на наружном контуре бруса

$$\sigma_r = 0, \text{ и } \tau_{r\theta} = 0, \tag{2.3}$$

а также условиям контактирования на контуре  $L_2$

$$\begin{aligned} \sigma_r \cos^2(n, r) + \sigma_\theta \cos^2(n, \theta) + 2\tau_{r\theta} \cos(n, r) \cos(n, \theta) &= g_l \cos(n, r), \\ (\sigma_\theta - \sigma_r) \cos(n, r) \cos(n, \theta) + \tau_{r\theta} [\cos^2(n, r) - \cos^2(n, \theta)] &= \tau_l \sin(n, \theta), \\ u_{\text{пласт.}} = u_{\text{бруса}} \quad v_{\text{пласт.}} = v_{\text{бруса}}, \quad \sigma_r^{(\text{пласт.})} = \sigma_r^{(\text{бруса})}, \quad \tau_{r\theta}^{(\text{пласт.})} &= \tau_{r\theta}^{(\text{бруса})}, \end{aligned}$$

где  $\cos(n, r) = \frac{r}{ds} \frac{d\theta}{ds}$ ,  $\cos(n, \theta) = -\frac{dr}{ds}$ ,  $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$  -элемент дуги.

Величины  $x, y$ , а также дифференциалы  $dx, dy$  находятся в точках некругового контура из уравнения (1.1).

Компоненты напряжений и перемещений в пластинке выражаются через функцию  $F$  по известным формулам

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \sigma_r = \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \theta^2}, \quad \sigma_\theta = \frac{\partial^2 F}{\partial r^2}, \quad \tau_{r\theta} = -\frac{\partial^2}{\partial r \partial \theta} \left( \frac{F}{r} \right).$$

Заметим, что уравнения (2.3) являются нелинейными дифференциальными уравнениями в силу нелинейной зависимости радиуса кривизны контура контакта от координат точек контура.

### 3. Постановка задач и основные уравнения изгиба двухсвязных пластин с подкрепленным краем

Рассмотрим двухсвязную пластинку, один из контуров которой описывается уравнениями (1.1). По этому контуру пластинка подкреплена ребром жесткости. Ребро представляется в виде некругового плоского упругого кольца, все жесткостные характеристики которого приведены к средней линии. Растяжимостью кольца пренебрегаем. Кольцо расположено симметрично относительно срединной плоскости пластинки. Задача сводится к совместному решению уравнения для функции прогиба пластинки и уравнений равновесия подкрепляющего элемента при выполнении условий сопряжения между кольцом и пластинкой, а также

удовлетворения граничным условиям для пластинки. Условиями сопряжения являются равенство угла закручивания бруса и угла поворота нормали пластинки по линии контакта и контактного крутящего момента по линии сопряжения кольца и пластины. Они имеют вид:

$$\frac{dw}{dn} = \vartheta, \quad w = y_{ребра}, \quad M_n = m, \quad N_n + \frac{dH_m}{ds} = q_p. \quad (3.1)$$

Здесь  $M_n, H_m$  – изгибающий и скручивающий моменты в пластине;  $N_n$  – перерезывающая сила, действующая в пластине на площадке с нормалью  $n$ ;  $y_{ребра}$  – перемещения точек бруса по вертикали;  $w$  – прогиб пластины;  $m$  – результирующий погонный момент, приложенный к брусу.

Граничные условия для пластинки при различных способах закрепления имеют следующий вид:

- а) жесткое защемление  $w = 0, \frac{dw}{dn} = 0$ ;
- б) край шарнирно оперт  $w = 0, M_n = 0$ ;
- в) край свободен  $M_n = 0, N_n + \frac{dH_m}{ds} = 0$ .

Уравнения для функции прогиба пластинки и уравнения равновесия подкрепляющего элемента (рис. 3-5) имеют вид

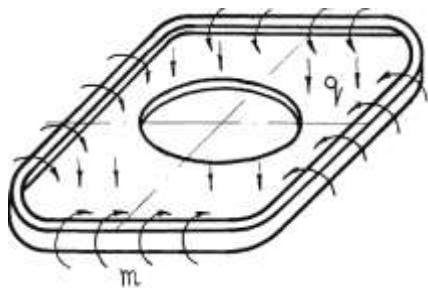


Рис. 3

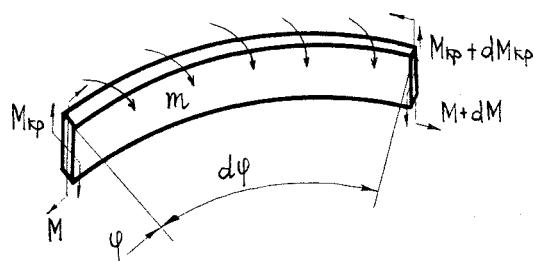


Рис. 4

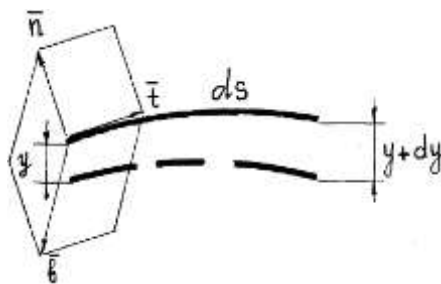


Рис. 5

$$\begin{aligned} \nabla^2 \nabla^2 w = -\frac{q}{D}, \quad \rho \frac{dM}{ds} + M_{кр} - Q\rho = 0, \quad \rho \frac{dM_{кр}}{ds} - M_n + m = 0, \quad \rho \frac{dQ}{ds} + q\rho = 0, \\ \frac{d\varphi}{ds} = -\frac{M_n}{EJ_x} + \frac{\vartheta}{\rho}, \quad \frac{d\vartheta}{ds} = \frac{M_{кр}}{GJ_{кр}} - \frac{\varphi}{\rho}, \end{aligned} \quad (3.3)$$

где  $\nabla$  – оператор Лапласа;  $q$  – интенсивность равномерно-распределенной нагрузки, приложенной по нормали к поверхности пластинки;  $D$  – жесткость пластинки на изгиб;  $M_n$ ,  $M_{кр}$ ,  $Q$  – соответственно изгибающий и крутящий моменты, поперечная сила в брус;  $t$  – результирующий погонный момент, приложенный к брусу;  $\rho$  – радиус кривизны центральной оси бруса;  $\vartheta$  – угол закручивания;  $\varphi$  – угол поворота сечения вокруг бинормали;  $q_p$  – погонное поперечное усилие на границе контакта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковырягин М.А. Управляемые конструкции (в мостостроении) / М.А. Ковырягин, И.Г. Овчинников. Саратов: СГТУ, 2003. 96 с.
2. Уздалев А.И. Расчет замкнутого некругового кривого бруса / А.И. Уздалев, М.А. Ковырягин // Известия вузов. Машиностроение. 1976. № 2. С. 12-16.
3. Ковырягин М.А. К вопросу об учете деформаций элементов карданова подвеса при изменении температуры / М.А. Ковырягин, Г.А. Волков // Известия вузов. Приборостроение. 1977. № 9. С. 85-89.
4. Ковырягин М.А. Регулируемое напряженно-деформируемое состояние двухсвязных пластин с подкрепляющим ребром по некруговому контуру / М.А. Ковырягин // VIII Всерос. съезд по теоретической и прикладной механике (Пермь, 23-29 августа 2001 г.) / УрО РАН: Екатеринбург, 2001. С. 336.

**Ковырягин Михаил Алексеевич** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика и механика»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

УДК 539.3

**О.Р. Кузнецов**

#### **РАСЧЕТ ПРЯМЫХ МНОГОСТРИНГЕРНЫХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК МЕТОДОМ БУБНОВА – ГАЛЕРКИНА С УЧЕТОМ ФИЗИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПРИ КОНЕЧНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ**

*На основе метода В.З. Власова методом Бубнова-Галеркина получены разрешающие уравнения расчета прямых замкнутых призматических оболочек с учетом физической нелинейности при конечных перемещениях.*

**O.R. Kuznetsov**

#### **STRAIGHT CLOSED MULTISPAN PRISMATIC SHELLS CALCULATION BY BUBNOV – GALERKIN'S METHOD TAKING INTO CONSIDERATION THE GEOMETRICAL AND PHYSICAL NONLINEARITY**

*The straight closed prismatic shell is considered in this article. Geometrical and physical nonlinearity is used by the author. Bubnov-Galerkin's method is used here. Resolving equations are recorded as a system of linear algebraic equations with variable factors.*

Рассматриваются пространственные многострингерные прямые замкнутые призматические оболочки средней длины. Контур поперечного сечения имеет произвольное очертание, он образован отрезками прямых и предполагается жестким в своей плоскости. Оболочка находится под действием произвольных крутящих и изгибающих нагрузок (распределенных, сосредоточенных). Оболочка в продольном направлении усилена продольными элементами (стрингерами) с площадью поперечного сечения  $F_i$  ( $i$  – номер узла поперечного сечения). Продольные перемещения точек контура определяются продольными перемещениями её узлов. Под узлом понимается точка излома контура или точка расположения стрингера. Продольные элементы (стрингеры) воспринимают только нормальные напряжения.

На рис. 1, 2 изображены мостовая балка и фрагмент несущей строительной конструкции.

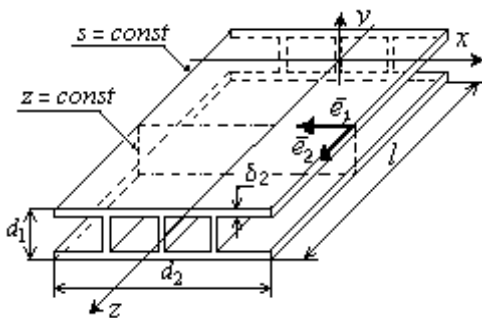


Рис. 1

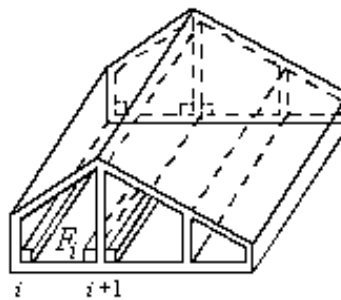


Рис. 2

Распространение конструкций такого типа в реальной инженерной практике делает актуальным создание расчётных моделей, которые отражают в достаточной мере специфику рассматриваемых конструкций, являются универсальными и позволяют построить алгоритм решения.

*Цель исследования.* На основе метода Бубнова-Галеркина получить разрешающие уравнения расчёта прямых замкнутых призматических оболочек с учётом продольного дискретного силового набора при конечных перемещениях и физической нелинейности материала.

Данная работа является продолжением исследований, изложенных в [1, 2], в которых рассматривался расчёт оболочек указанного типа с учетом физической нелинейности.

*Статико-геометрическая модель.* В соответствии с методом В.З. Власова расчёта призматических оболочек средней длины компоненты вектора перемещений точек контура в продольном (в направлении оси  $z$ ) и вдоль контура оболочки (в направлении оси  $s$ ), задаются соответственно в виде

$$U(z, s) = BU_i(z)\varphi_i(s); \quad V(z, s) = BV_h(z)\psi_h(s); \quad \langle i \rangle, \langle h \rangle, \quad (1)$$

где  $\varphi_i(s)$ ,  $\psi_h(s)$ , ( $i=1, \dots, n$ ;  $h=0, \dots, m$ ) – задаваемые безразмерные аппроксимирующие функции;  $U_i(z)$ ,  $V_h(z)$  – неизвестные безразмерные функции, подлежащие определению. Символ  $\langle \rangle$  означает суммирование по соответствующему индексу. Геометрические размеры оболочки задаются безразмерными параметрами в соответствии с [1, 2].

Отличными от нуля компонентами деформации являются продольные деформации  $\varepsilon_z$  в направлении оси  $z$  и деформации сдвига  $\varepsilon_{sz}$  срединной поверхности пластинок, составляющих оболочку. Зависимости между деформациями и перемещениями принимаются в виде

$$\varepsilon_z = \frac{1}{\eta_1} \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{1}{2\eta_1^2} \left[ \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial W}{\partial z} \right)^2 \right]; \quad \varepsilon_{12} = \frac{\partial U}{\partial s} + \frac{1}{\eta_1} \frac{\partial V}{\partial z}. \quad (2)$$

Отличными от нуля компонентами тензора напряжений являются  $\sigma_{sz}(z,s)$  и  $\sigma_z(z,s)$ . По толщине пластинок, составляющих оболочку, напряжения распределены равномерно.

Для записи зависимостей между напряжениями и деформациями используются соотношения деформационной теории пластичности. Соответственно используются гипотезы, положенные в её основу:

- деформации достаточно малы, нагружение простое или близкое к простому, рассматривается монотонное возрастание нагрузки;
- тело изотропно;
- относительное изменение объема является упругой деформацией, пропорциональной среднему давлению. Коэффициент пропорциональности тот же, что и в теории упругости;
- компоненты девиатора деформаций пропорциональны компонентам девиатора напряжений;
- интенсивность напряжений  $\sigma_i$  является функцией интенсивности деформаций  $\varepsilon_i$ , не зависящей от типа напряженного состояния.

Относительным изменением объема пренебрегаем, получим

$$\sigma_z = \sigma_2 = E\varphi(\varepsilon_i)\varepsilon_2, \quad \sigma_{12} = l_1 E \varphi(\varepsilon_i)\varepsilon_{12}, \quad (G = l_1 E = E/2(1+\nu)) . \quad (3)$$

Для линеаризации нелинейных зависимостей используется метод последовательных нагружений [3]. Имеем для приращений величин следующие выражения:

$$u(z,s) = Bu_i(z)\varphi_i(s), \quad v(z,s) = Bv_h(z)\psi_h(s); \quad (4)$$

$$\Delta\varepsilon_2 = \frac{1}{\eta_1} u'_i \varphi_i + \frac{1}{\eta_1^2} v'_k M_k; \quad \Delta\varepsilon_{12} = u'_i \varphi'_i + \frac{1}{\eta_1} v'_k \psi_k; \quad \langle i \rangle, \quad \langle k \rangle, \quad (5)$$

$$\Delta\sigma_2 = E A_1(z,s) \Delta\varepsilon_2, \quad \Delta\sigma_{12} = l_1 E A_2(z,s) \Delta\varepsilon_{12}; \quad \Delta N_2 = \delta \Delta\sigma_{12}, \quad \Delta S_{12} = \delta \Delta\sigma_{12}, \quad (6)$$

где  $E A_1(z,s) = \partial\sigma_2 / \partial\varepsilon_2, \quad l_1 E A_2(z,s) = \partial\sigma_{12} / \partial\varepsilon_{12} - \quad (7)$

условные жесткости;  $u_i, v_k$  – приращения искомого обобщенных перемещений;  $\Delta N_2, \Delta S_{12}$  – усилия, возникающие в поперечных сечениях оболочки, приходящиеся на единицу длины контура, без учета стрингеров. Полагаем, что можно пренебречь изменением условных жесткостей вдоль оболочки, то есть считаем

$$\partial A_1(z,s) / \partial z = 0, \quad \partial A_2(z,s) / \partial z = 0 . \quad (8)$$

С учётом ортогональности аппроксимирующих функций используемое обозначение записывается в виде

$$M_k = V'_k (\psi_k^2 + \chi_k^2). \quad (9)$$

Влияние продольных элементов (стрингеров) учитывается следующим образом. Обозначим через  $E_j = E \cdot \bar{E}_j$  модуль упругости  $j$ -го стрингера, через  $T_j = T_j(z)$  продольное усилие в  $j$ -м стрингере. Имеем

$$\begin{aligned} T_j &= E_j F_j \Delta\varepsilon_2(j) = \Delta N_2^*(j) s_k; \\ \Delta N_2^*(j) &= E_j \delta \bar{s}_j^* \Delta\varepsilon_2(j) = E \delta \Delta \bar{\sigma}_2^*(j); \quad \Delta \bar{\sigma}_2^*(j) = \bar{E}_j \bar{s}_j^* \Delta\varepsilon_2(j), \quad (10) \\ \Delta\varepsilon_2(j) &= \Delta\varepsilon_2(z, j) = \frac{1}{\eta_1} \varphi_i(j) u'_i + \frac{1}{\eta_1^2} v'_k M_k(j), \quad \langle k \rangle, \quad \langle i \rangle, \\ F_j &= \delta \bar{F}_j; \quad s_k = \int ds = B \bar{s}_k^*; \quad \bar{F}_j = F_j / \delta = \bar{s}_j^* s_k = B \bar{F}_j^*; \quad \bar{F}_j^* = \bar{s}_j^* \bar{s}_k^*. \end{aligned}$$



Здесь  $\Delta N_2^*(j)$   $\Delta \bar{\sigma}_2^*(j)$ , соответственно – погонное (отнесенное к единице длины контура) продольное усилие и безразмерное нормальное напряжение, которое получается в результате условного «размазывания» усилия  $T_j$  по всему контуру поперечного сечения толщиной  $\delta$ . Здесь  $\Delta \varepsilon_2(j)$  – значение продольной деформации  $j$ -го стрингера;  $\varphi_i(j)$ ,  $M_k(j)$  – значение соответствующих функций в  $j$ -м узле;  $\delta$  – характерная толщина контура;  $s_k$  – длина контура;  $\bar{s}_k^*$  – безразмерная длина контура; безразмерный коэффициент  $\bar{s}_j^*$  показывает, какую долю от площади поперечного сечения оболочки составляет площадь данного стрингера. Тогда продольное усилие, с учётом стрингеров, действующее в поперечном сечении оболочки, отнесенное к единице длины контура, можно записать в виде

$$\Delta N_2 = \Delta N_2(z, s) = \Delta N_2^0(z, s) + \Delta N_2^*(z, s) = \Delta N_2^0 + \Delta N_2^*, \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta N_2^0(z, s) &= E \delta(s) \Delta \varepsilon_2 = E \delta(s) \Delta \bar{\sigma}_2; \\ \Delta N_2^*(z, s) &= \sum_{j=1}^l \Delta N_2^*(j); \quad \Delta \bar{\sigma}_2^* = \sum_{j=1}^l \Delta \bar{\sigma}_2^*(j). \end{aligned}$$

Таким образом, усилия в поперечных сечениях оболочки представляются в виде двух слагаемых: одно без учета стрингеров ( $\Delta N_2^0, \Delta \bar{\sigma}_2^0$ ); другое от действия стрингеров ( $\Delta N_2^*, \Delta \bar{\sigma}_2^*$ ).

Напряженно-деформированное состояние оболочки полностью определяется приращениями обобщенных перемещений на текущем этапе нагружения

$$u_i(z), \quad u'_i(z), \quad v_h(z), \quad v'_h(z) \quad (i=1, \dots, n, \quad h=0, \dots, m) \quad (12)$$

и их накопленными на  $\alpha$ -м этапе нагружения значениями

$$U_i^{\alpha\alpha}(z), (U'_i(z))^{\alpha\alpha}, V_h^{\alpha\alpha}(z), (V'_h(z))^{\alpha\alpha}. \quad (13)$$

*Вывод разрешающих уравнений.* На этапе нагружения на основе принципа возможных перемещений Лагранжа имеем

$$\delta \Delta T - \delta \Delta W = 0, \quad (14)$$

где  $\delta \Delta T$  – работа внешних сил, которая записывается в виде

$$\delta \Delta T = B^2 l \int_0^1 (R(z) \delta v_k + P_\gamma(z) \delta u_\gamma) dz + B^2 (R_k^* \delta v_k + P_\gamma^* \delta u_\gamma) \Big|_{z=0}^{z=1}, \quad (15)$$

где

$$\begin{aligned} R_k(z) &= \int p_1(z, s) \psi_k(s) ds, & P_\gamma(z) &= \int p_2(z, s) \varphi_\gamma(s) ds, \\ R_k^*(z) &= \int p_1^*(z) \psi_k(s) ds, & P_\gamma^*(z) &= \int p_2^*(z) \varphi_\gamma(s) ds, \quad (z=0; 1), \end{aligned} \quad (16)$$

где  $p_1(z, s)$ ,  $p_2(z, s)$  – распределенная по поверхности оболочки нагрузка, действующая соответственно в направлении осей  $s$  и  $z$ ;  $p_1^*(z)$ ,  $p_2^*(z)$ , ( $z=0; 1$ ) – нагрузка, приложенная в торцах оболочки, отнесенная к единице длины контура, действующая соответственно в направлении осей  $s$  и  $z$ .

Расчетная модель оболочки задается следующим выражением

$$\delta \Delta W = B l \int_0^1 \int (\Delta N_2 \Delta \delta \varepsilon_2 + \Delta S_{12} \Delta \delta \varepsilon_{12}) dz ds, \quad (17)$$

где  $\Delta N_2$  задается выражениями (10), (11).

Развернем выражение (17) с учетом (5), (6). Получим

$$\begin{aligned} \delta \Delta W = E \delta B l \left( \frac{1}{\eta_1} A_\gamma(z) \delta u_\gamma(z) + \left[ \frac{1}{\eta_1^2} B_k(z) + \frac{1}{\eta_1} D_k(z) \right] \delta v_k(z) \right) \Big|_0^1 - \\ - E \delta B l \int_0^1 \left( \left[ \frac{1}{\eta_1} A'_\gamma(z) - C_\gamma(z) \right] \delta u_\gamma(z) + \left[ \frac{1}{\eta_1^2} B'_k(z) + \frac{1}{\eta_1} D'_k(z) \right] \delta v_k(z) \right) dz, \end{aligned} \quad (18)$$

где

$$\begin{aligned} A_\gamma(z) &= \int \Delta \sigma_2 \cdot \varphi_\gamma \bar{\delta} ds = \frac{1}{\eta_1} u'_i(\tilde{a}_\gamma^{i*}) + \frac{1}{\eta_1^2} v'_h(\langle A_1 \varphi_\gamma M_h \rangle^*); \\ B_k(z) &= \int \Delta \sigma_2 \cdot M_k \bar{\delta} ds = \frac{1}{\eta_1} u'_i(\langle A_1 \varphi_i M_k \rangle^*) + \frac{1}{\eta_1^2} v'_h(\langle A_1 M_h M_k \rangle^*); \\ C_\gamma(z) &= \int \Delta \sigma_{12} \cdot \varphi_\gamma \bar{\delta} ds = l_1 \left( \frac{1}{\eta_1} v'_h \tilde{c}_\gamma^h + u_i \tilde{b}_\gamma^i \right); \\ D_k(z) &= \int \Delta \sigma_{12} \cdot \psi_k \bar{\delta} ds = l_1 \left( \frac{1}{\eta_1} v'_h \tilde{r}_k^h + u_i \tilde{d}_k^i \right). \end{aligned} \quad (19)$$

Подставим (15), (18) в (14). Получим статические граничные условия (20) и уравнения равновесия (21)

$$\left[ A_\gamma(z) - \frac{1}{E \delta} P_\gamma^* \right] \delta u_\gamma(z) \Big|_0^1 = 0; \quad \left[ \frac{1}{\eta_1} B_k(z) + D_k(z) - \frac{1}{E \delta} R_k^* \right] \delta v_k(z) \Big|_0^1 = 0. \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \int_0^1 \left[ \frac{1}{\eta_1} A'_\gamma(z) - C_\gamma(z) + \frac{\eta_2}{E} P_\gamma(z) \right] \delta u_\gamma(z) dz = 0; \\ \int_0^1 \left[ \frac{1}{\eta_1^2} B'_k(z) + \frac{1}{\eta_1} D'_k(z) + \frac{\eta_2}{E} R_k(z) \right] \delta v_k(z) dz = 0; \end{aligned} \quad (21)$$

$\gamma = 1, \dots, n; \quad k = 0, \dots, m.$

В соответствии с методом Бубнова-Галеркина представим искомые приращения обобщенных перемещений  $u_i(z)$ ,  $v_h(z)$ , ( $i=1, \dots, n$ ,  $h=0, \dots, m$ ) в виде разложения

$$u_i(z) = u_i^\alpha \cdot \chi_{i\alpha}(z), \quad v_h(z) = v_h^\Delta \lambda_{h\Delta}(z) \quad (\alpha = 1, \dots, s, \quad \Delta = 1, \dots, e). \quad (22)$$

$$u(z, s) = B u_i^\alpha \chi_{i\alpha}(z) \varphi_i(s), \quad v(z, s) = B v_h^\Delta \lambda_{h\Delta}(z) \psi_h(s), \quad (23)$$

где  $u_i^\alpha$ ,  $v_h^\Delta$  – неизвестные постоянные, подлежащие определению;  $\chi_{i\alpha}(z)$ ,  $\lambda_{h\Delta}(z)$  – аппроксимирующие (задаваемые) функции.

Функции  $\chi_{i\alpha}(z)$ ,  $\lambda_{h\Delta}(s)$  должны образовывать ортонормированный базис Гильбертова пространства. Каждая из этих функций должна удовлетворять геометрическим и статическим граничным условиям. Поэтому соотношения (20) удовлетворяются автоматически. Далее имеем

$$\delta u_\gamma(z) = \delta u_\gamma^\beta \cdot \chi_{\gamma\beta}(z), \quad \delta v_k(z) = \delta v_k^\delta \lambda_{k\delta}(z). \quad (24)$$

Разрешающие уравнения в форме метода Бубнова-Галеркина можно получить следующим образом. Подставим в уравнения равновесия (21) выражения (22) и (24) соответственно для обобщенных перемещений и их вариаций. Полагая вариации  $\delta u_\gamma^\alpha$  и  $\delta v_k^\delta$  произвольными, получим уравнения равновесия в виде (25)

$$\int_0^1 \left[ \frac{1}{\eta_1} A'_\gamma(z) - C_\gamma(z) + \frac{\eta_2}{E} P_\gamma(z) \right] \chi_{\gamma\beta} dz = 0; \quad \beta = 1, \dots, s; \quad \gamma = 1, \dots, n; \quad (25)$$

$$\int_0^1 \left[ \frac{1}{\eta_1^2} B'_k(z) + \frac{1}{\eta_1} D'_k(z) + \frac{\eta_2}{E} R_k(z) \right] \lambda_{k\delta} dz = 0; \quad \delta = 1, \dots, e; \quad k = 0, \dots, m.$$

Выражения (25) можно получить другим способом. Полагая в выражении (21) вариации для обобщенных перемещений  $\delta u_\gamma$ ,  $\delta v_k$  произвольными, получим уравнения равновесия в виде системы линейных дифференциальных уравнений (26) с переменными коэффициентами, относительно неизвестных (12)

$$\frac{1}{\eta_1} A'_\gamma(z) - C_\gamma(z) + \frac{\eta_2}{E} P_\gamma(z) = 0; \quad \gamma = 1, \dots, n; \quad (26)$$

$$\frac{1}{\eta_1^2} B'_k(z) + \frac{1}{\eta_1} D'_k(z) + \frac{\eta_2}{E} R_k(z) = 0; \quad k = 0, \dots, m.$$

Тогда выражения (25) по форме совпадают с определением слабой сходимости операторов (26) в Гильбертовом пространстве функций  $\chi_{i\alpha}(z)$ ,  $\lambda_{h\Delta}(z)$ . Физически выражения (25) означают равенство нулю работы всех внешних и внутренних сил на возможных перемещениях, определяемых выбранным базисом Гильбертова пространства.

Интегрируя выражения (25) с учетом вида выражений (19), получим систему линейных алгебраических уравнений  $n \cdot s + (m + 1) \cdot e$  порядка относительно неизвестных коэффициентов  $u_i^\alpha$ ,  $v_h^\Delta$ . Имеем

$$\left( \frac{1}{\eta_1^2} A_{\gamma\alpha\beta}^i - l_1 B_{\gamma\alpha\beta}^i \right) u_i^\alpha - \frac{l_1}{\eta_1} \left( C_{\gamma\Delta\beta}^h - \frac{1}{l_1 \eta_1^2} (F_\gamma^h \dots + F1_\gamma^h \dots) \right) v_h^\Delta = - \frac{\eta_2}{E} \Delta P_{\gamma\beta};$$

$$\frac{l_1}{\eta_1} \left( D_{k\alpha\delta}^i + \frac{1}{l_1 \eta_1^2} (E_k^i \dots + E1_k^i \dots) \right) u_i^\alpha +$$

$$+ \frac{l_1}{\eta_1^2} \left( R_{k\Delta\delta}^h + \frac{1}{l_1 \eta_1^2} (G_k^h \dots + G1_k^h \dots) \right) v_h^\Delta = - \frac{\eta_2}{E} \Delta R_{k\delta},$$

$$\langle i \rangle; \langle \alpha \rangle; \langle h \rangle; \langle \Delta \rangle \quad (\beta = 1, \dots, s; \quad \gamma = 1, \dots, n; \quad k = 0, \dots, m; \quad \delta = 1, \dots, e). \quad (27)$$

Коэффициенты при неизвестных и правая часть имеют вид

$$A_{\gamma\alpha\beta}^i = \int_0^1 (\tilde{a}_\gamma^i)^* \chi_{i\alpha}'' \chi_{\gamma\beta} dz; \quad F_{\gamma\Delta\beta}^h = \int_0^1 (\langle A_1 \varphi_\gamma M_h \rangle^*) \lambda_{h\Delta}'' \chi_{\gamma\beta} dz;$$

$$B_{\gamma\alpha\beta}^i = \int_0^1 \tilde{b}_\gamma^i \chi_{i\alpha} \chi_{\gamma\beta} dz; \quad F1_{\gamma\Delta\beta}^h = \int_0^1 (\langle A_1 \varphi_\gamma M_h' \rangle^*) \lambda_{h\Delta}' \chi_{\gamma\beta} dz;$$

$$C_{\gamma\Delta\beta}^h = \int_0^1 \tilde{c}_\gamma^h \lambda_{h\Delta}' \chi_{\gamma\beta} dz; \quad E_{k\alpha\delta}^i = \int_0^1 (\langle A_1 \varphi_i M_k \rangle^*) \chi_{i\alpha}'' \lambda_{k\delta} dz;$$

$$D_{k\alpha\delta}^i = \int_0^1 \tilde{d}_k^i \chi_{i\alpha}' \lambda_{k\delta} dz; \quad E1_{k\alpha\delta}^i = \int_0^1 (\langle A_1 \varphi_i M_k' \rangle^*) \chi_{i\alpha}' \lambda_{k\delta} dz; \quad (28)$$

$$R_{k\Delta\delta}^h = \int_0^1 \tilde{r}_k^h \lambda_{h\Delta}'' \lambda_{k\delta} dz; \quad G_{k\Delta\delta}^h = \int_0^1 (\langle A_1 M_h M_k \rangle^*) \lambda_{h\Delta}'' \lambda_{k\delta} dz;$$

$$\Delta R_{k\delta} = \int_0^1 R_k(z) \lambda_{k\delta}(z) dz; \quad G1_{k\Delta\delta}^h = \int_0^1 (\langle A_1 M_k M_h' \rangle^* +$$

$$\Delta P_{\gamma\beta} = \int_0^1 P_\gamma(z) \chi_{\gamma\beta}(z) dz; \quad + \langle A_1 M_k' M_h \rangle^*) \lambda_{h\Delta}' \lambda_{k\delta} dz.$$

Коэффициенты, входящие в выражения (28), имеют вид

$$\tilde{a}_\gamma^i = \langle A_1 \varphi_\gamma \varphi_i \rangle, \quad \tilde{b}_\gamma^i = \langle A_2 \varphi'_\gamma \varphi'_i \rangle, \quad \tilde{c}_\gamma^h = \langle A_2 \psi_h \varphi'_\gamma \rangle;$$

$$\tilde{d}_k^i(z) = \langle A_2 \psi_k \varphi'_i \rangle, \quad \tilde{r}_k^h(z) = \langle A_2 \psi_k \psi_h \rangle; \quad (29)$$

$$\tilde{a}_\gamma^{i*} = \tilde{a}_\gamma^i + st(j) \tilde{a}_\gamma^i(j), \quad \langle j \rangle; \quad st(j) = \bar{E}_j \bar{s}_j^* \bar{s}_k^*;$$

$$\langle A_1 \varphi_\gamma M_h \rangle^* = \langle A_1 \varphi_\gamma M_h \rangle + st(j) A_1(j) \varphi_\gamma(j) M_h(j), \quad \langle j \rangle; \quad (30)$$

$$\langle A_1 M_h M_k \rangle^* = \langle A_1 M_h M_k \rangle + st(j) A_1(j) M_h(j) M_k(j), \quad \langle j \rangle; \quad (31)$$

$$\langle A_1 \varphi_\gamma M'_h \rangle^* = \langle A_1 \varphi_\gamma M'_h \rangle + st(j) A_1(j) \varphi_\gamma(j) M'_h(j), \quad \langle j \rangle. \quad (32)$$

Анализ полученных выражений показывает, что:

– учёт стрингеров осуществляется коэффициентами (30)-(32), помеченными «\*»;

– учёт геометрической нелинейности – коэффициентами  $F, F1, E, E1, G, G1$  через коэффициенты (30)-(32), в состав которых входит комплекс (9)  $M_k(z, s)$ . В записи уравнений равновесия (27) для наглядности на месте индексов у этих коэффициентов поставлены точки. Если в выражениях для коэффициентов (30)-(32) и для приращений деформаций (5) положить  $M_k=0$ , то получим решение геометрически линейной задачи;

– анализ выражения (9) для  $M_k(z, s)$  и выражений для коэффициентов (30)-(32) показывает, что вкладом в напряженно-деформированное состояние оболочки коэффициента (31) можно пренебречь. Поэтому в выражениях (27) следует положить коэффициенты  $G=G1=0$ .

– учёт физической нелинейности осуществляется коэффициентами  $A_1(z,s), A_2(z,s)$ , входящими в выражения (29)-(32). Если положить  $A_1=A_2=1$ , то получим физически линейную задачу;

– если положить равными нулю коэффициенты  $F=F1=E=E1=G=C1=0$ , а величины  $A_1=A_2=1$ , то получим линейную задачу.

*Заключение.* Получены разрешающие уравнения расчёта прямых замкнутых многострингерных призматических оболочек с учётом физической и геометрической нелинейности в форме метода Бубнова-Галеркина.

Представление этих уравнений в виде системы линейных алгебраических уравнений позволяет получить численно устойчивый алгоритм расчёта оболочек рассматриваемого типа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов О.Р. Применение метода Бубнова-Галеркина к расчету прямых замкнутых призматических оболочек с учетом физической нелинейности / О.Р. Кузнецов // Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2003. С. 17-25.

2. Кузнецов О.Р. Сходимость метода Бубнова – Галеркина при расчете прямой призматической оболочки с учетом физической нелинейности / О.Р. Кузнецов, Н.В. Губарева // Механика деформируемых сред: межвуз. науч. сб. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2004. Вып. 15. С. 58-65.

3. Петров В.В. Метод последовательных нагружений в нелинейной теории пластин и оболочек / В.В. Петров. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1975. 119 с.

**Кузнецов Олег Рафаэлевич** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика деформируемого твердого тела» Саратовского государственного технического университета

**А.Н. Павлов, Н.Б. Захарова, А.В. Ляшенко, Е.А. Егорова**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
СТАЦИОНАРНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЭРИТРОЦИТЫ КРОВИ**

*Рассматриваются результаты визуального исследования воздействия стационарных магнитных полей на эритроциты крови. Измерения проводились в квазистационарных магнитных полях.*

**A.N. Pavlov, N.B. Zaharova, A.V. Lyashenko, E.A. Egorova**

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF STATIONARY MAGNETIC FIELDS EFFECT  
ON THE RED CORPUSCLES**

*This article considers the results of the visual investigation of the stationary magnetic fields effect on the red corpuscles. The measurements have been made in quasi – stationary magnetic fields.*

Различные отрасли знаний, образованные на стыке нескольких смежных научных направлений и связанные с изучением воздействия физических полей на живые организмы на клеточном уровне (биофизика, магнитобиология, дифрактометрия микробиологических объектов и др.) характеризуются, в основном, следующими направлениями исследований:

- тестирование объектов исследований по их видовой принадлежности;
- диагностика состояния объектов исследования;
- исследование особенностей воздействия различного рода внешних факторов на рассматриваемые объекты.

Исследование клеточных препаратов обусловлено тем, что они являются удобными модельными системами для изучения биологических эффектов, так как в большей степени сохраняют физиологические функции, легко доступны для различных манипуляций и упрощают анализ результатов. Известно также, что процессы, протекающие на клеточном уровне, отображают состояние организма в целом.

Авторами исследовалось влияние слабых магнитных полей на клетки венозной крови. В соответствии с литературными данными, проводимые ранее исследования осуществлялись при воздействии слабых переменных полей частотой не менее 50 Гц, либо при воздействии сильных постоянных полей напряженностью в несколько Тл [1], влияние же слабых статических магнитных полей не рассматривалось. В то же время эти поля генерируются при работе многочисленных силовых электроустановок производственных предприятий и городского транспорта. А результаты последних исследований особенностей радиоактивного распада показали, что кроме корпускулярных альфа- и бета-излучений радиоактивный распад сопровождается низкочастотным электромагнитным излучением, соответствующим диапазону частот функционирования головного мозга человека (0,3÷70 Гц). И поэтому любую АЭС с её локальными концентрациями радиоактивных веществ также можно рассматривать как источник квазистационарного магнитного поля.

Рассматривая строение эритроцитов (рис. 1), можно сделать вывод о возможности воздействия физических полей на данный объект: отрицательно заряженная мембрана обуславливает особенности электростатического взаимодействия, а наличие в основе эритроцита гемогло-

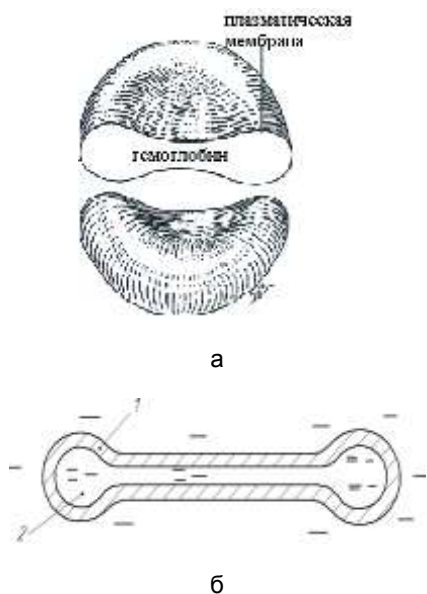


Рис. 1. Строение эритроцита крови:  
 а – общая форма эритроцита крови;  
 б – строение эритроцита крови:  
 1 – внешняя оболочка, имеющая отрицательный заряд;  
 2 – железосодержащий пигмент крови

бина – железосодержащего пигмента крови, составляющего более 90% массы эритроцита, определяет возможность ориентационного поведения эритроцитов в стационарных магнитных полях.

Типичный эритроцит млекопитающих имеет двояковогнутую тороидальную форму. Такая форма при прохождении крови через легкие обеспечивает равномерность насыщения эритроцита кислородом как по краям, так и в центре диска. Из всех возможных тороидов заданного объема форма, соответствующая эритроциту млекопитающих, обеспечивает максимальное отношение площади поверхности  $S$  к объему  $V$  ( $\frac{S}{V} = 1,638$ ; для сферических эритроцитов того же объема  $\frac{S}{V} = 0,55$ ).

Геометрическая форма эритроцита описывается уравнением для овалов Кассини [2]. При этом, изменяя константы уравнения, можно отобразить изменение формы эритроцита во времени.

Подготовка эритроцитов к экспериментальным условиям осуществлялась следующим образом:

1. Использовались эритроциты после трехкратного отмывания от плазмы 0,155M раствором NaCl при режиме центрифугирования при 1500 g в течение 10 минут. Клетки разводили 1:1 0,155 M раствором NaCl и инкубировали в течение 4 часов при T

37°C. После инкубации в эритроцитах снижалось содержание глюкозы на 40-45%, то есть клетки оказывались в энергодефицитном состоянии. В популяции выявлено до 80-85% эхиноцитов;

2. Эритроциты после трехкратного отмывания от плазмы 5 mM раствором глюкозы при режиме центрифугирования при 1500 g в течение 10 минут. Клетки разводили 1:1 5 mM раствором глюкозы и инкубировали в течение 4 часов при T 37°C. После инкубации в эритроцитах содержание глюкозы оставалось равным исходному уровню. В популяции выявлено до 10-15% эхиноцитов;

3. Использовались эритроциты после трехкратного отмывания от плазмы 0,155 M раствором NaCl, pH 7,4 при режиме центрифугирования при 1500 g в течение 10 минут. Клетки гемолизировали 30 mM раствором трис-HCl и трижды центрифугировали при 6000 g в течение 30 минут. Полученный осадок эритроцитарных мембран разводили 1:1 0,155M раствором NaCl.

На рис. 2 приведена структурная схема макета для исследования воздействия стационарных магнитных полей на эритроциты крови. Макет работает следующим образом: исследуемый образец б помещается на катушку магнитного поля 3. Источник пилообразного тока 7, подключенный к катушке магнитного поля, позволяет формировать воздействующее на эритроциты крови медленно меняющееся по линейному закону магнитное поле. Поведение эритроцитов анализируется с помощью микроскопа 5. Следует отметить, что магнитная ось катушки и оптическая ось микроскопа совпадают, что обеспечивает возможность наблюдения перемещения объектов исследования вдоль силовых линий магнитного поля. Величину вертикального перемещения можно определять по контурным линиям дифракционной картины аналогично решению данной задачи для микробиологических объектов [3]. При этом время фиксированного перемещения определяется с помощью измерителя временных интервалов 8.

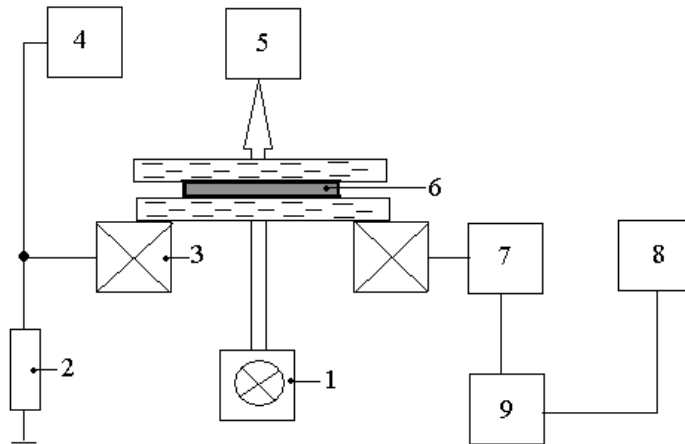


Рис. 2. Структурная схема лабораторного макета: 1 – источник света; 2 – измерительное сопротивление; 3 – катушка магнитного поля; 4 – цифровой вольтметр; 5 – микроскоп; 6 – исследуемый образец; 7 – генератор пилообразного тока; 8 – таймер; 9 – блок управления

Блок управления 9 обеспечивает включение источника тока и включение таймера в момент останова источника тока при визуальном наблюдении поведения эритроцитов под действием магнитного поля. В момент фиксации таймера осуществляется измерение времени перемещения эритроцитов и происходит сброс источника тока.

Качественная картина поведения в магнитном поле эритроцита крови определяется магнитными свойствами его структурных составляющих и выполнением принципа суперпозиции. При этом следует отметить, что железосодержащий пигмент крови, находящийся внутри эритроцита, определяет его поведение, соответствующее ферромагнетику – ферромагнетик смещается в направлении градиента поля. Тогда поведение эритроцита в целом будет определяться поведением мембранной оболочки. Если внешняя оболочка диамагнитна, то ферромагнетизм железосодержащего пигмента будет ослабляться, если внешняя оболочка парамагнитна (ферромагнитна), то ферромагнетизм железосодержащего пигмента будет усиливаться (рис. 3).

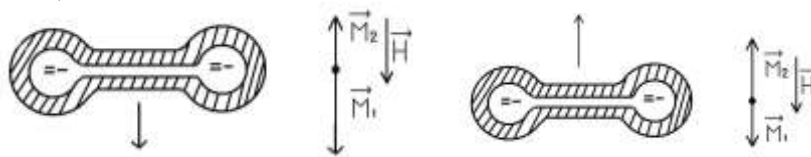


Рис. 3. Возможные варианты поведения эритроцитов крови в магнитном поле:

$\vec{M}_1$  – магнитный момент мембранной оболочки;  $\vec{M}_2$  – магнитный момент пигмента крови

Известно, что для описания магнитных свойств слабо магнитных веществ наиболее удобной характеристикой является магнитная восприимчивость [4], которая является мерой изменения намагниченности под действием внешнего магнитного поля. Магнитная восприимчивость – величина безразмерная. Наиболее распространен способ измерения магнитной восприимчивости слабомангнитных веществ на основании рассмотрения движения исследуемых образцов в градиентном магнитном поле. Именно этот способ был реализован авторами при проведении экспериментальных исследований. Следует отметить, что при таких измерениях, в случае стационарного движения исследуемого образца, информативным параметром

является скорость его перемещения, а при наличии фиксированного пути перемещения – время перемещения. И тогда магнитная восприимчивость  $K_m$  является однозначной функцией времени перемещения –  $K_m(t_{пер.})$ . Перемещение эритроцитов в магнитном поле характеризуется наличием такого параметра, как поле старта  $H_{см}$  (по аналогии с доменами тонких магнитных пленок и микроорганизмами) – поле, в котором объект начинает перемещаться.

Результаты экспериментальных исследований для пяти различных случаев приведены в таблице.

#### Результаты экспериментальных исследований движения эритроцитов

##### Донор 1

	Эритроцит, отмытый физиологическим раствором	Эритроцит, отмытый 5%-м раствором глюкозы	Мембраны
Н старта	3600 А/м	800 А/м	4400 А/м
Н см при стационарном движении	4000 А/м	4000 А/м	6000 А/м
L подъема	1,5 мкм	1,5 мкм	1,5 мкм
t	10-12 с	8 с	8 с

##### Донор 2

	Эритроцит, отмытый физиологическим раствором	Эритроцит, отмытый 5%-м раствором глюкозы	Мембраны
Н старта	3200 А/м	400 А/м	4800 А/м
Н см при стационарном движении	4000 А/м	4000 А/м	6000 А/м
L подъема	1,5 мкм	1,5 мкм	1,5 мкм
t	20 с	4 с	5 с

##### Донор 3

	Эритроцит, отмытый физиологическим раствором	Эритроцит, отмытый 5%-м раствором глюкозы	Мембраны
Н старта	4000 А/м	2800 А/м	4800 А/м
Н см при стационарном движении	4400 А/м	4000 А/м	6000 А/м
L подъема	1,5 мкм	1,5 мкм	1,5 мкм
t	25-30 с	15 с	8 с

##### Донор 4

	Эритроцит, отмытый физиологическим раствором	Эритроцит, отмытый 5%-м раствором глюкозы	Мембраны
Н старта	4800 А/м	440 А/м	4800 А/м
Н см при стационарном движении	5200 А/м	4000 А/м	6000 А/м
L подъема	1,5 мкм	1,5 мкм	1,5 мкм
t	15-20 с	6 с	10 с

##### Донор 5

	Эритроцит, отмытый физиологическим раствором	Эритроцит, отмытый 5%-м раствором глюкозы	Мембраны
Н старта	4000 А/м	3000 А/м	3600 А/м
Н см при стационарном движении	4400 А/м	5200 А/м	6000 А/м
L подъема	1,5 мкм	1,5 мкм	1,5 мкм
t	25-30 с	12 с	8-9 с



Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о диамагнитном характере поведения эритроцитов крови в магнитном поле – они выталкиваются вдоль силовых линий поля независимо от его полярности. При этом мембранная оболочка, как составная часть объекта исследования, является более сильным диамагнетиком, чем эритроцит в целом. Можно предположить, что доминирующий вклад мембранной оболочки определяется обменными процессами в ней, в результате которых формируются замкнутые токовые контуры, обуславливающие диамагнитный характер поведения ее в магнитном поле. Интенсификация обменных процессов в мембранной оболочке за счет воздействия раствора глюкозы должна приводить (по аналогии с микробиологическими объектами [3]) к усилению диамагнитных свойств, что подтверждается результатами экспериментальных исследований, приведенными в таблице. Следует отметить, что воздействие глюкозы, как стимулятора обменных процессов, приводит к значительному уменьшению поля старта  $H_{cm}$  – эритроцит становится более чувствительным к воздействию магнитного поля.

Отмеченная магниточувствительность эритроцитов крови к стационарным полям небольшой напряженности (десятки эрстед) свидетельствует о негативном воздействии этих полей, которое, по нашему мнению, может проявляться следующим образом:

- усиление агрегации эритроцитов и образование тромбов;
- нарушение естественной циркуляции крови;
- нарушение процесса отдачи кислорода в ткани в организме.

Следует отметить, что рассмотренные экспериментальные исследования могут быть использованы для установления «магнитного профиля» структурных составляющих крови и исследования интенсивности обменных процессов в них.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павлович С.А. Магниточувствительность микроорганизмов / С.А. Павлович. Минск: Беларусь, 1981. 172 с.
2. Райхмист Р.Б. Графики функций / Р.Б. Райхмист. М.: Школа-Пресс, 1997. 384 с.
3. Павлов А.Н. Диамагнетизм микробиологических объектов / А.Н. Павлов. Саратов: Научная книга, 2003. 84 с.
4. Вонсовский С.В. Магнетизм / С.В. Вонсовский. М.: Наука, 1971. 1032 с.

#### **Павлов Александр Николаевич –**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
начальник КБ ОАО «НИИ-Тантал»

#### **Захарова Наталья Борисовна –**

доктор медицинских наук, профессор  
Саратовского государственного медицинского университета,  
начальник ЦНИЛ

#### **Ляшенко Александр Викторович –**

кандидат технических наук,  
генеральный директор – генеральный конструктор ОАО «НИИ-Тантал»

#### **Егорова Елена Александровна –**

ведущий инженер ОАО «НИИ-Тантал»

А.Н. Панкратов, В.В. Ефанова, Н.И. Васильченко, О.В. Федотова

**МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ КОРОТКОЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ЛИТИЙ – ОРГАНИЧЕСКИЙ ПОЛУПРОВОДНИК**

*Методом теории функционала плотности в варианте B3LYP исследована электронная структура бензогидротиохроменов, а также возможных продуктов нуклеофильной реакции катиона бензогидротиохромиллия с иодид-ионом.*

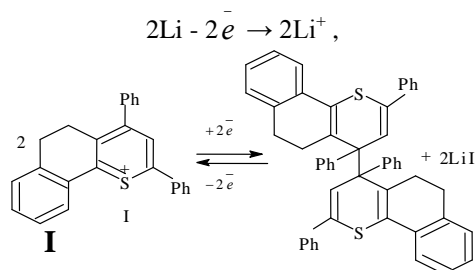
A.N. Pankratov, V.V. Efanova, N.I. Vasilchenko, O.V. Fedotova

**TRANSITION LAYER MODEL OF SHORT-CIRCUIT SYSTEM LITHIUM – ORGANIC SEMICONDUCTOR**

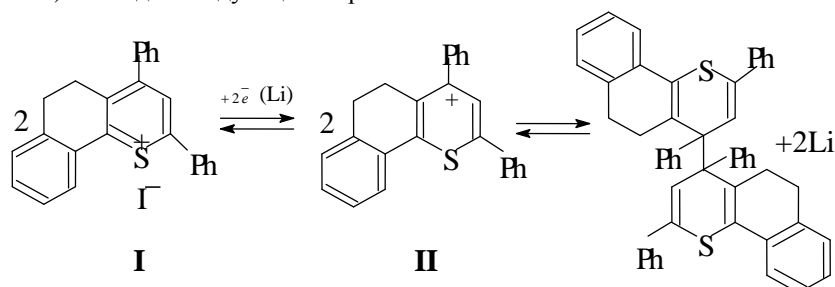
*Using the density functional theory within the B3LYOD variant, the electronic structure of benzohydrotyochromenes is researched, as well as the possible products of nucleophilic attack of benzohydrotyochromilium cation of iodide ion.*

Опубликованная в 1986 г. работа У. Гейзера впервые описывает структуру синтезированной ионно-радикальной соли (ИРС), обладающей свойствами сверхпроводника с проводимостью по катиону  $Ag^+$  [1]. Каркас-сетка донорных молекул производного бензофульвалена представляет рыхлую упаковку из трех молекул, которые контактируют между собой через связь  $S^{\bullet}S$ , причем расстояние между атомами серы больше, чем два квантовых радиуса  $\approx 3,6 \text{ \AA}$ . Более короткие контакты ответственны за электронную проводимость. Все контакты между донорными слоями и иод-серебряным осуществляются за счет взаимодействия иодида с водородом этиленовых групп. Поскольку исследуемые нами комплексы с переносом заряда (КПЗ) и ИРС имеют подобную кристаллическую решетку, то продукты их катодного восстановления, по-видимому, также могут иметь аналогичное строение и обладать суперионным эффектом [2]. Спектральные характеристики продуктов катодного восстановления солей тиопирилия, подтверждают наличие внутримолекулярного переноса заряда [3].

Сами по себе реакции катодного восстановления КПЗ и ИРС обсуждаются на молекулярном уровне, и при их написании игнорируется то важное обстоятельство, что последние протекают в твердой фазе. Внедрение в структуру ионов металла ( $M^+$ ) возможно при её деформации. Деформация связана, прежде всего, с перемещением анионов. С электрохимических позиций при контакте лития с КПЗ или ИРС происходит внедрение катиона лития под действием электрического поля, что стимулирует саморазряд в соответствии с электродными процессами анодного окисления Li и катодного восстановления органического полупроводника ионной соли (катион I):



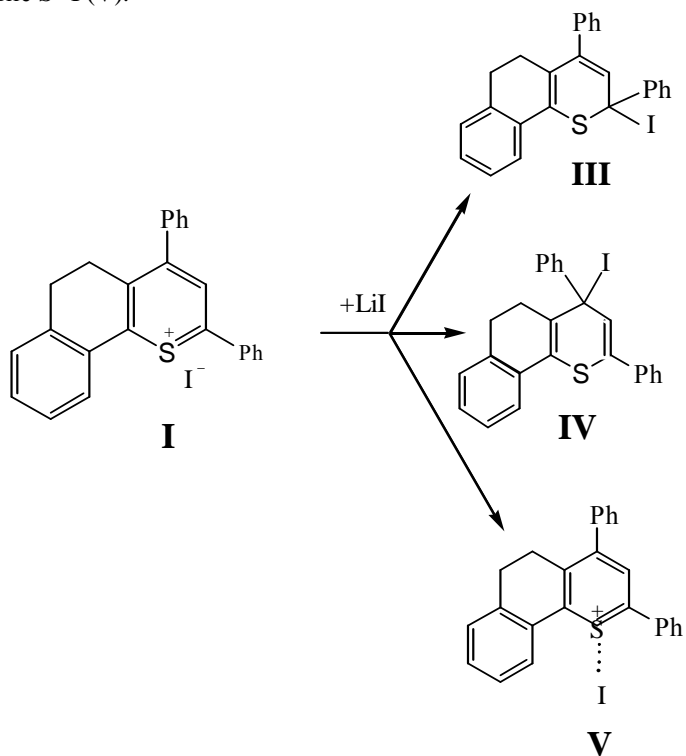
Механизм реакции катодного восстановления органического полупроводника ионной соли (катион **I**) выглядит следующим образом:



При нуклеофильной реакции катиона **I** с иодидом лития предположительно могут образовываться соответствующие 2-иодо- (**III**), 4-иодо- (**IV**) замещенные бензогидротиохромены или реализуется взаимодействие  $S^{\bullet+}I$  (**V**).

Для обоснования возможности возникновения самоорганизованных структур в системах непосредственного контакта щелочной металл – органический полупроводник нами проведены квантово-химические расчеты и предложена модель переходного слоя.

Методом теории функционала плотности в варианте B3LYP исследована электронная структура катиона **I**, радикала **II**, образующегося при его одноэлектронном восстановлении, а также возможных продуктов нуклеофильной реакции катиона **I** с иодид-ионом – соответствующих 2-иодо- (**III**), 4-иодо- (**IV**) замещенных тиопиранов и системы, в которой реализуется взаимодействие  $S^{\bullet+}I$  (**V**). На рис. 1-6 представлены общий вид изученных молекулярных систем и заряды на атомах.



Расчеты на всех уровнях теории не согласуются с представлениями о ярко выраженных положительных зарядах на атомах углерода в  $\alpha$ - и  $\gamma$ -положениях тиопирилевого цикла. Констатируется значительный положительный заряд на атоме серы. Заряды на атомах, полученные с помощью NBO-анализа орбитальных заселенностей, более реалистичные по сравнению с малликеновскими, указывают на незначительный положительный заряд на атоме  $C_\gamma$ , но не  $C_\alpha$ . Учитывая, что реакции между разноименно заряженными частицами обычно являются зарядово-контролируемыми [4], можно полагать, что нуклеофильная атака катиона **I** иодид-ионом протекает по атому серы с возникновением структуры **V** или (с меньшей вероятностью) по  $\gamma$ -позиции гетероцикла с образованием соответствующего 4-иодотиопирана **IV**.

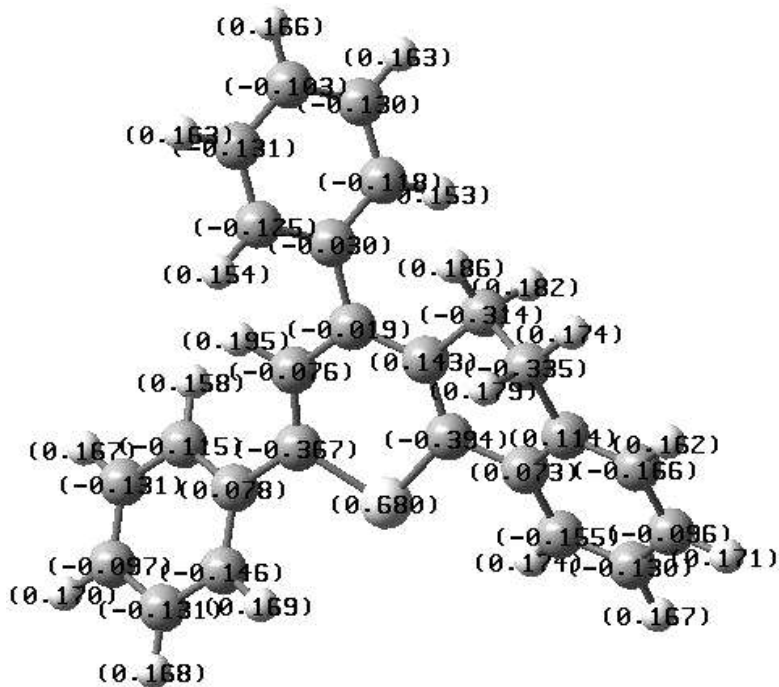


Рис. 1. Малликеновские заряды на атомах в катионе I (B3LYP/6-31G)

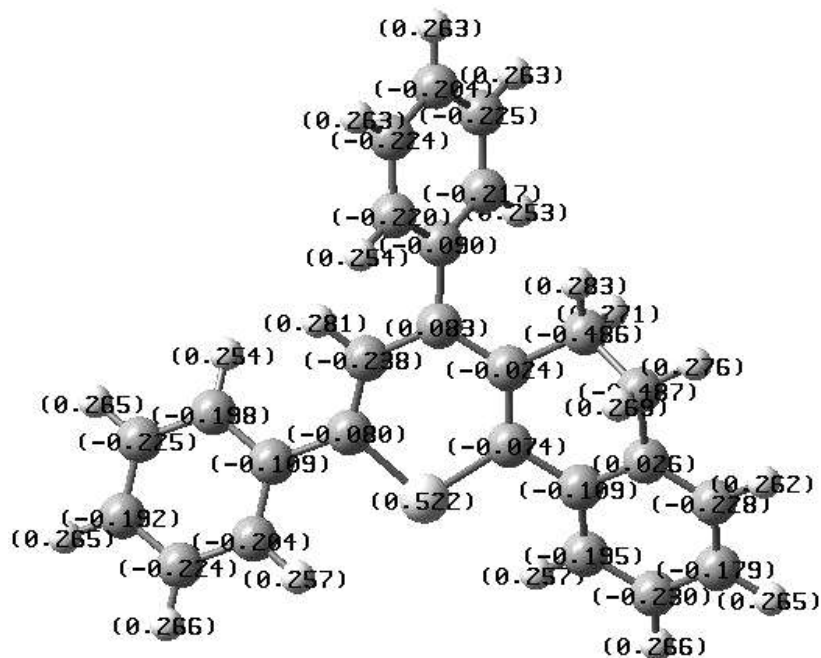


Рис. 2. NBO-заряды на атомах в катионе I (B3LYP/6-31G)

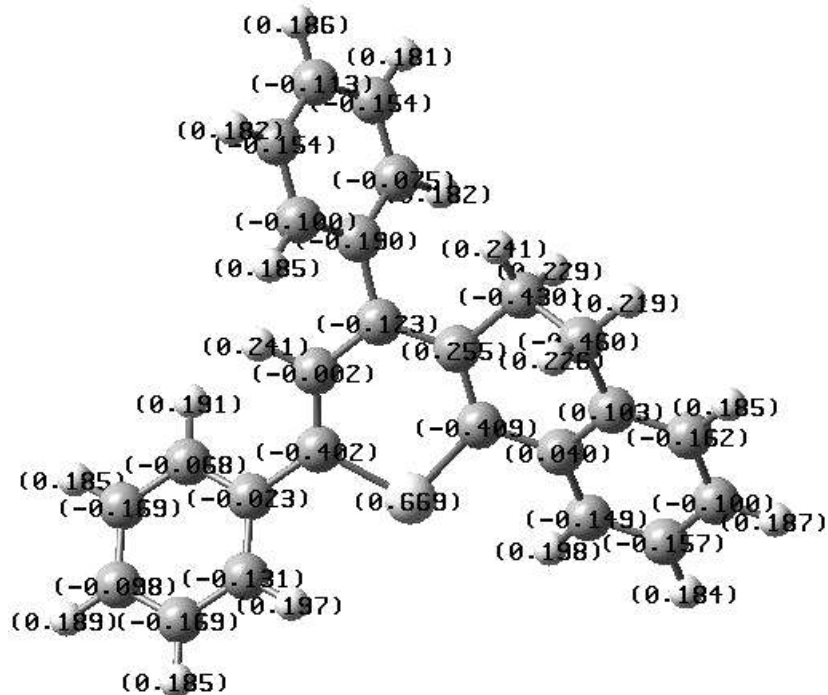


Рис. 3. Малликеновские заряды на атомах в катионе I (B3LYP/6-311G)

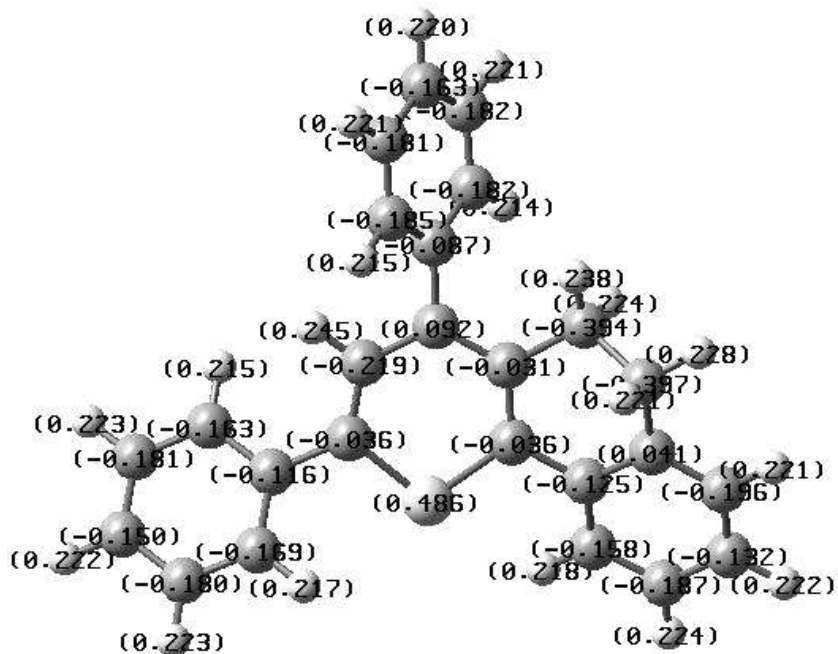


Рис. 4. NBO-заряды на атомах в катионе I (B3LYP/6-311G)

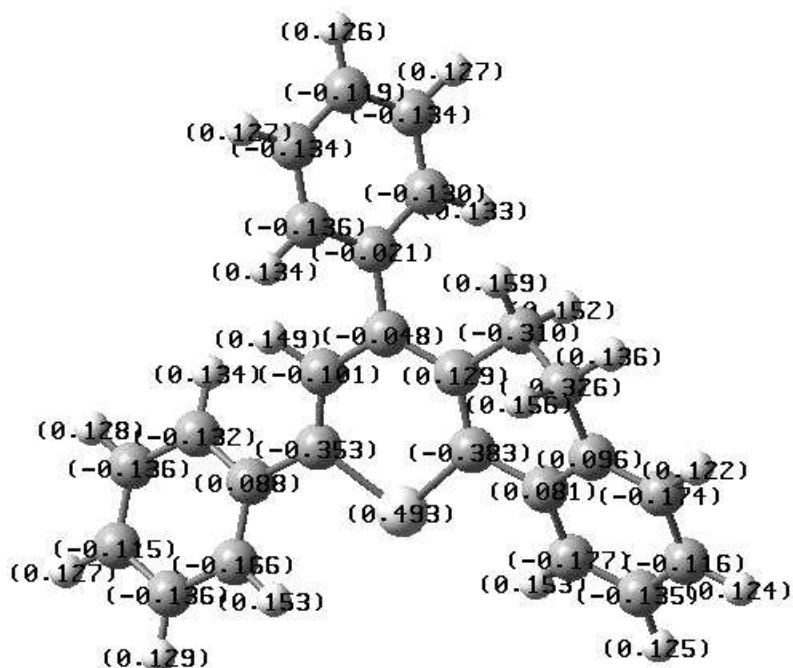


Рис. 5. Малликовские заряды на атомах в радикале II (B3LYP/6-31G)

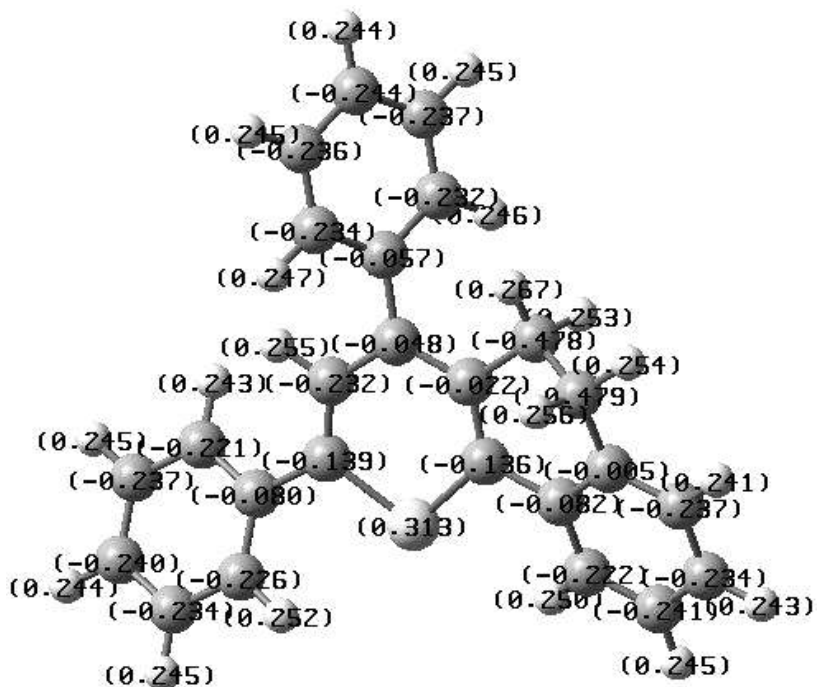


Рис. 6. NBO-заряды на атомах в радикале II (B3LYP/6-31G)

Карбениевые катионы  $R_3C^+$ ,  $C_6H_5^+$ , которые можно рассматривать как отдаленные аналоги тиопирилиевых, являются промежуточными по жесткости кислотами Льюиса, а иодид-ион – мягкое основание Льюиса [4]. Поэтому, несмотря на наличие заряда у реагирующих частиц, приходится считаться с возможностью орбитального контроля взаимодействия в системе катион **I** – иодид-анион [5]. Для орбитально-контролируемых нуклеофильных реакций важнейшим статическим индексом реакционной способности служит граничная электронная плотность, в данном случае электронная плотность в низшей свободной молекулярной орбитали (НСМО).

В табл. 1 представлены значения электронной плотности в НСМО для катиона **I**. При описании электронной плотности в НСМО на атомах углерода в  $\alpha$ -положениях тиопирилиевого кольца сначала приведены значения для атома  $C_\alpha$ , несущего фенильную группу, а в скобках указана величина для  $\alpha$ -позиции, связанной с алициклическим заместителем.

Указанный индекс, как и заряды на атомах, также предсказывает преимущественные направления нуклеофильной атаки по атому серы и по  $\gamma$ -углеродному центру.

Анализ зарядового распределения в молекулярных системах и электронной плотности в НСМО приводит к одному и тому же выводу в отношении региоселективности нуклеофильного присоединения иодид-иона к катиону **I**.

Таблица 1

Электронная плотность в НСМО на атомах  $C_\alpha$  и  $C_\gamma$  и серы катиона **I** по данным B3LYP/6-31G-расчетов

Атом	Электронная плотность в НСМО
$C_\alpha$	0.144 (0.163)
$C_\gamma$	0.184
S	0.193

Электронная плотность в НСМО на атомах  $C_\alpha$  и  $C_\gamma$  и серы катиона **I** по данным B3LYP/6-311G-расчетов

Атом	Электронная плотность в НСМО
$C_\alpha$	0.127 (0.138)
$C_\gamma$	0.168
S	0.170

Можно полагать, что химическое взаимодействие между катионом **I** и анионом **Г** как между разноименно заряженными частицами при условии образования не очень прочной связи происходит быстро и обратимо, причем при протекании реакции в твердой фазе лимитируется лишь диффузией ионов в кристаллической структуре. Более того, твердофазный характер реакции может не только служить фактором ее замедления, но также ускорять процесс и смещать равновесие в сторону образования продукта вследствие повышения концентраций реагентов и развитой поверхности соприкосновения между ними. В этом случае наряду с кинетическим может иметь значение термодинамический фактор реакции. В табл. 2 приведены разности энергетических характеристик ( $E$ ), представляющих собой суммы электронных и термических энтальпий ( $H$ ) и свободных энергий ( $G$ ) с учетом энергий нулевых колебаний.

Как видно, термодинамически наиболее стабильным является продукт **V**. Немного менее устойчив катион **IV**, и еще менее – система **III**.

Для гетероцикла молекулы **V** наблюдается едва заметная тенденция трансформации от планарной геометрии к ванне с бушпритными атомами по ту же сторону от средней плоскости гетерокольца, что и атом иода. Угол между линиями  $S\cdots I$  и  $S\cdots C_\gamma$  составляет  $110.66^\circ$ .

Таблица 2

Разностные энергетические характеристики,  
рассчитанные на уровне теории B3LYP/3-21G(d,p)

Разность	E, ккал/моль	
	H	G
E (III) - E (IV)	1.802	2.007
E (III) - E (V)	4.013	4.196
E (IV) - E (V)	2.211	2.189

В обоснование характера структуры **V** отметим следующее. По данным наших расчетов, расстояние между атомами серы и иода равно 3.089 Å, в то время как расстояние S...I, граничное между специфическим и ван-дер-ваальсовым взаимодействиями, составляет 3.82 Å [6]. Поэтому в принципе возможно образование ковалентной связи между атомами серы и иода. Действительно, взаимодействие между атомами S и I имеет ковалентную составляющую. Об этом свидетельствуют существенное отличие заряда на атоме иода от -1 и ненулевой (0.1503) индекс Уайберга для взаимодействия S...I, полученный на основе NBO-анализа.

В то же время степень ковалентности взаимодействия S...I мала. На это указывают уже упомянутое значение индекса Уайберга, являющееся слишком низким для ковалентной связи, а также отсутствие (по данным NBO-анализа) значимых величин энергий возмущения второго порядка, отвечающих электронному переносу между орбиталями атомов серы и иода.

С другой стороны, велика ионная составляющая взаимодействия S...I: имеет место значительное разделение зарядов между атомами серы и иода. Так, малликовские заряды на атомах S и I равны соответственно 0.669 и -0.499, а NBO-заряды 0.733 и -0.550. По-видимому, характер молекулярной системы **V** существенно ближе к ионному (солевому), чем к тиабензолному

Учитывая однонаправленность прогноза, базирующегося на посылке о кинетическом (с использованием двух взаимодополняющих индексов реакционной способности) и термодинамическом контроле реакции, можно с высокой степенью достоверности предположить нуклеофильную атаку по атому серы с образованием структуры **V**, то есть, по сути, отсутствие глубоких химических превращений и сохранение в практически неизменном виде исходной соли тиопирилиевого типа. В то же время нельзя исключить параллельное образование соединения **IV** и в меньшей степени – **III**.

Известно [7-9], что региоселективность реакций гомолитического сочетания (димеризации) определяется распределением спиновой плотности в радикальных интермедиатах. Нами методом B3LYP/6-31G рассчитаны заряды (рис. 5, 6) и спиновые плотности на атомах в радикале **II**.

Значения спиновой плотности на атомах C<sub>α</sub>, C<sub>β</sub>, C<sub>γ</sub> и S равны соответственно 0.309 (0.344), -0.190 (-0.209), 0.439 и 0.156. При описании спиновой плотности на α- и β-углеродных атомах сначала приведены значения для α-положения тиопирилиевого кольца, к которому присоединена фенильная группа, и для свободного β-положения, а в скобках указаны величины для α- и β-позиций, связанных с бициклическим фрагментом. Избыток плотности неспаренного электрона констатируется на атомах C<sub>α</sub>, C<sub>γ</sub> и S.

В соответствии с критерием спиновой плотности наиболее вероятно димеризация радикала **II** с участием γ-положения гетерокольца. В несколько меньшей степени вероятно сочетание по атомам углерода в двух неравноценных α-позициях, и, наконец, еще менее – по атому серы.

S,S-рекомбинацию радикалов должно затруднять наличие значительного положительного заряда на атоме серы (рис. 5, 6). Димеризации S,S- и C,S-типов препятствует лабильность связей S-S и C-S с участием гипервалентной серы. Кроме того, можно указать,



например [10], что образование сульфониевых солей происходит только в гетеролитических (но не гомолитических) реакциях алкилирования сульфидов. В то же время аналогия рассмотренной нами реакции с алкилированием сульфидов – не прямая: в нашем случае при C,S-димеризации образовалась бы не сульфониевая соль, а тиабензольная система.

Фактором, неблагоприятным для возникновения  $C_{\alpha},C_{\alpha}$ - и  $C_{\alpha},C_{\beta}$ -димеров, является наличие в радикале **II** достаточно высоких отрицательных зарядов на  $\alpha$ - и  $\beta$ -атомах углерода (рис. 5, 6); по данным NBO-анализа (рис. 6), отрицательный заряд на незамещенном  $\beta$ -углеродном центре даже выше, чем аналогичные величины для атомов углерода в  $\alpha$ -позициях. Димеризация с участием атома  $C_{\alpha}$ , связанного с бициклическим фрагментом, представляется маловероятной также и по стерическим соображениям.

Таким образом, квантово-химический расчет предсказывает в качестве наиболее вероятного направления гомолитической восстановительной димеризации катиона **I** сочетание по атому углерода в  $\gamma$ -позиции гетероцикла с образованием прочной C-C связи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Synthesis Electrical Properties and Crystal Structure of the First Organic Metal-Solid Electrolyte Hybrid (BEDT-TTF)<sub>3</sub>•Ag<sub>x</sub>I<sub>8</sub>(x 6,4) / U. Geiser, H.H. Wang, R.M. Donaga et al. / *Jornal of Inorganic Chemistry*. 1986. Vol. 25. P. 225-226.
2. Михайлова А.М. Поведение короткозамкнутых систем щелочной металл / органический полупроводник / А.М. Михайлова, В.В. Ефанова // *Электрохимия*. 1997. Т. 33, № 5. С. 501-508.
3. Михайлова А.М. Исследования катодных реакций в электрохимических системах щелочной металл-органический полупроводник / А.М. Михайлова, В.В. Ефанова // *Электрохимия*. 2000. Т. 36, № 6. С. 669-676.
4. Днепроvский А.С. Теоретические основы органической химии / А.С. Днепроvский, Т.И. Темникова. Л.: Химия, 1991. 560 с.
5. Жидомиров Г.М. Прикладная квантовая химия. Расчеты реакционной способности и механизмов химических реакций / Г.М. Жидомиров, А.А. Багатурьянц, И.А. Абронин. М.: Химия, 1979. 296 с.
6. Зефиpов Ю.В. Новые применения ван-дер-ваальсовых радиусов в химии / Ю.В. Зефиpов, П.М. Зоркий // *Успехи химии*. 1995. Т. 64, № 5. С. 446-461.
7. Pankratov A.N. Chemical and Electrochemical Oxidation of Phenothiazine / A.N. Pankratov, I.M. Uchaeva, A.N. Stepanov // *Canadian Journal Chemistry* 1993. Vol. 71, № 5. P. 674-677.
8. Pankratov A.N. Trends in Spin Density Distribution in Radical Intermediates in Connection with Homolytic Coupling Directions of Organic Compounds / A.N. Pankratov // *Theochem Journal of Molecular Structure*. 1994. Vol. 315, № 1. P. 179-186.
9. Pankratov A.N. Oxidation and Homolytic Coupling Regioselectivity of Carbazole in Acidic Media / A.N. Pankratov, A.N. Stepanov // *Croatia Chemistry Acta*. 1997. Vol. 70, № 2. P. 585-598.
10. Робертс Дж. Основы органической химии / Дж. Робертс, М. Касерио; пер. с англ. Ю.Г. Бунделя; под ред. А.Н. Несмеянова. М.: Мир, 1978. Т. 2. 888 с.

#### **Панкратов Алексей Николаевич –**

доктор химических наук,  
профессор кафедры «Аналитическая химия и химическая экология»  
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

#### **Ефанова Вера Васильевна –**

кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия»  
Саратовского государственного технического университета

**Васильченко Наталия Ивановна** –

аспирант кафедры «Химия»

Саратовского государственного технического университета

**Федотова Ольга Васильевна** –

доктор химических наук, профессор кафедры «Органическая химия»

Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

УДК 51:371; 510.662; 681.3

**В.Е. Фирстов**

### **СЕМАНТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ И РАСПРОСТРАНЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ**

*Предлагается математическая модель построения математического знания как дедуктивной теории. В рамках этой модели построение дедуктивной теории представляется как освоение определенного информационного пространства, элементы которого структурированы в виде ориентированной семантической сети. Данная сеть разбивается на области доминирования и определенным образом метризуется, после чего на этой сети ставятся задачи оптимизации, например, в виде минимизации доказательств рассматриваемой дедуктивной теории.*

**V.E. Firstov**

### **THE SEMANTIC MODEL AND OPTIMIZATION THROUGH MATHEMATICAL KNOWLEDGE FORMATION AND PROPAGATION**

*The mathematical model formation of a mathematical knowledge as a deductive theory is offered here. Within this model of formation of the deductive theory mastering define information space is presented here. The elements of space are structured into oriented semantic net. This net divides on the dominated regions and metric measure. Optimization problems are researched in this net.*

#### **1. Дискретная модель семантической сети для неформальной аксиоматической теории**

Пусть  $S=(M; \Sigma)$  – некоторая математическая структура, основные отношения которой выражены аксиомами  $\Sigma=\{\alpha_1; \dots; \alpha_s\}$  в рамках системы базисных множеств  $M=\{M_1; \dots; M_k\}$ , представляющих основные объекты данной структуры. Пусть дедуктивная теория  $Th(S)$  этой математической структуры строится как неформальная (содержательная) аксиоматическая теория, которая является некоторым счетным множеством, элементы (аксиомы и теоремы) которого упорядочены отношением «интуитивного» логического следования. Отметим, что неформальные аксиоматические теории – это обычная практика построения математического знания, восходящая к «Началам» Евклида [1], если, конечно, речь не идет о системах с искусственным интеллектом [2].

В представленной неформальной модели система аксиом  $\Sigma$ , интерпретируемая системой основных множеств  $M$ , может рассматриваться как некий генетический базис структуры  $S$ , который на интуитивно-логическом уровне порождает упорядоченное множество  $Th(S)$ , несущее информацию о строении структуры  $S$ . Поэтому о дедуктивной теории  $Th(S)$  можно говорить как о некотором информационном пространстве, построение которого мыслится, вообще говоря, в виде некоторой потенциально бесконечной процедуры и, в связи с этим, для  $Th(S)$  более точным представляется название «виртуальное информационное пространство».

Информационное пространство дедуктивной теории  $Th(S)$  интерпретируется в виде некоторого орграфа  $\vec{\Gamma}(S)$ , представляющего модель структуры  $S$ , реализующей прохождение определенной математической информации, т.е. речь идет о семантической модели. В этом случае множество  $Th(S)$  задает элементы предметной области, являющиеся вершинами орграфа, а его дуги определяются набором функций  $f_m$  вида:

$$f_m : T_{i_1}; \dots; T_{i_n} \mapsto T, \quad (1)$$

где  $m; i_1; \dots; i_n \in N$ ,  $T_{i_1}; \dots; T_{i_n}; T \in Th(S)$ , а символ  $\mapsto$  подразумевает неформальное логическое следствие утверждения  $T$  из посылок  $T_{i_1}; \dots; T_{i_n}$ . Фрагмент орграфа  $\vec{\Gamma}(S)$ , связанный с функцией (1), представлен на рис. 1, а, а в таблице (рис. 1, б) приведена матрица смежности этого фрагмента.

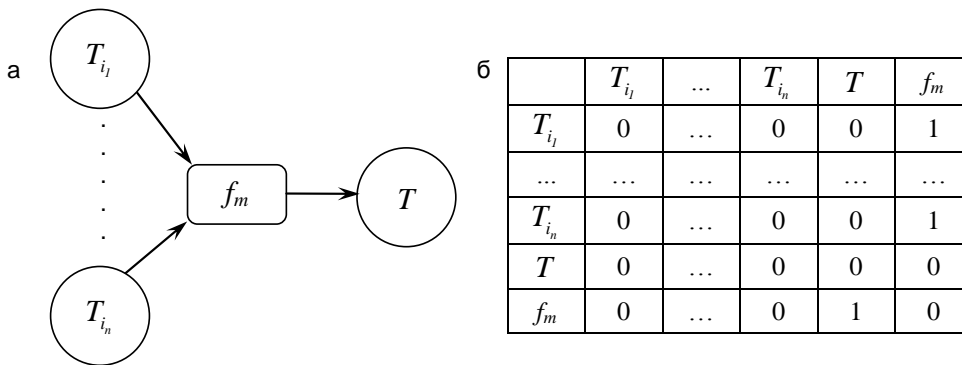


Рис. 1

Как видим, орграф  $\vec{\Gamma}(S)$ , наряду с вершинами предметной области  $Th(S)$ , характеризуется еще одним типом вершин, которые задаются множеством  $F = \{f_m | m \in N\}$ , содержащим функции вида (1). В определенном смысле элементы множества  $F$  – это аналоги дизъюнктов, которые используются при построении формализованных моделей семантических сетей [3]. В итоге, орграф  $\vec{\Gamma}(S)$  представляется парой  $(V; E)$ , где множество вершин  $V$  и множество дуг  $E$  определяются выражениями:

$$V = Th(S) \cup F; \quad E \subset (Th(S) \times F) \cup (F \times \bar{\Sigma}); \quad (2)$$

$\bar{\Sigma}$  – дополнение системы аксиом  $\Sigma$  до  $Th(S)$ , т.к., без ограничения общности, систему аксиом  $\Sigma$  можно считать независимой. Поскольку аксиомы теории  $Th(S)$  не являются логическими следствиями, то для заданного орграфа  $\vec{\Gamma}(S)$  система вершин  $\Sigma \subset Th(S)$  выполняет роль источников и, следовательно,  $\vec{\Gamma}(S)$  выступает в виде некоторой семантической сети, определяющей строение информационного пространства дедуктивной теории  $Th(S)$ .

Предлагаемая сетевая модель вида (1)-(2) характерна тем, что из любой  $F$ -вершины орграфа  $\vec{\Gamma}(S)$  всегда исходит только одна дуга. Это несколько упрощает математический аппарат и позволяет не обращаться к общим сетевым моделям в виде гиперграфов [4]. Другая возможная альтернатива исходит из логико-лингвистической модели семантических сетей, которые актуальны при ситуационном управлении сложными системами [3]; [5] и выражаются на языке лингвистической переменной [6] с помощью нечетких множеств [7].

## 2. Маршруты, расстояния и связность между вершинами семантической сети неформальной аксиоматической теории

Пусть на орграфе  $\vec{\Gamma}(S)$  вида (2) выделены различные вершины  $v_0; v_1; \dots; v_n \in V$ , такие, что образуется последовательность дуг

$$\vec{l}(v_0; \dots; v_n) : (v_0; v_1); (v_1; v_2); \dots; (v_{n-1}; v_n) \in E. \quad (3)$$

Тогда говорят об ориентированном маршруте, соединяющем вершину  $v_0$  с вершиной  $v_n$ . В этом случае также говорят, что вершина  $v_n$  достижима из вершины  $v_0$ . При  $v_0=v_n, n>1$  маршрут  $\vec{l}(v_0; \dots; v_n)$  является циклическим. Вершины  $v_i, i=\overline{1; n-1}$  будем называть промежуточными (или транзитными) вершинами маршрута (3), выражая этот факт следующим образом:  $v_0 \prec v_i \prec v_n$ . Длина маршрута (3) определяется соотношением:

$$|\vec{l}(v_0; \dots; v_n)| = n. \quad (4)$$

Пусть  $\vec{l}(v_0; v_n)$  – множество всех ориентированных маршрутов, соединяющих вершину  $v_0$  с  $v_n$ , а  $|\vec{l}(v_0; v_n)|$  – множество длин этих маршрутов. Расстояние  $|\vec{r}(v_0; v_n)|$  от вершины  $v_0$  до вершины  $v_n$  определяется выражением

$$|\vec{r}(v_0; v_n)| = \inf |\vec{l}(v_0; v_n)|. \quad (5)$$

Расстояние (5), вообще говоря, не является метрикой на орграфе  $\vec{\Gamma}(S)$ , т.к., например, не выполняется условие симметричности  $|\vec{r}(v_0; v_n)| \neq |\vec{r}(v_n; v_0)|$ .

При рассмотрении дедуктивной теории  $Th(S)$  вопросы связности  $\vec{\Gamma}(S)$  представляются достаточно важными. Для орграфов обычно вводят две связности – слабую и сильную [8] и, в этой связи, далее установим некоторые структурные свойства орграфа  $\vec{\Gamma}(S)$ .

**Предложение 1.** Орграф  $\vec{\Gamma}(S)$  является двудольным.

**Предложение 2.** Предикатные вершины  $Th(S)$  связаны между собой дугами только через дизъюнкты  $F$ .

**Предложение 3.** Орграф  $\vec{\Gamma}(S)$  не является связным в сильном смысле.

Предложения 1; 2 следуют из определения  $\vec{\Gamma}(S)$  в виде (1), (2). Предложение 3 очевидно, т.к., в противном случае, получается логическая эквивалентность между любой парой утверждений теории  $Th(S)$ , что представляется абсурдным.

**Предложение 4.** Орграф  $\vec{\Gamma}(S)$  является связным в слабом смысле.

Действительно, допустим противное. Тогда, имея в виду связность по вершинам  $Th(S)$ , на основании  $\Gamma(S)$  орграфа  $\vec{\Gamma}(S)$  найдутся, по крайней мере, две вершины  $T; T' \in Th(S)$ , обладающие следующим свойством: из системы аксиом  $\Sigma \subset Th(S)$  к  $T'$  и  $T''$  ведут два непересе-

секающихся маршрута. Это означает, что в системе  $\Sigma$  выделяются две непересекающиеся подсистемы аксиом  $\Sigma'; \Sigma''$ , соответственно, приводящие к утверждениям  $T'; T''$ . Но тогда получается  $Th'(S) \cup Th''(S) \subseteq Th(S)$ ,  $Th'(S) \cap Th''(S) = \emptyset$ , где  $Th'(S)$ ;  $Th''(S)$  – соответственно, теории, исходящие из аксиом  $\Sigma'; \Sigma''$ , что исключается, поскольку  $Th(S)$  представляется как единая, целостная теория в аксиоматике  $\Sigma$ .

**Следствие 1.** Расстояние (5) в слабом смысле

$$|r(v_o; v_n)| = \inf |I(v_o; v_n)| \quad (6)$$

является метрикой на орграфе  $\vec{G}(S)$ .

### 3. Области доминирования предикатных вершин семантической сети и их характерные размеры

Пусть произвольно выбрана предикатная вершина  $T \in Th(S)$ , посредством которой формируется множество

$$U(T) = \{T_i | T_i < T \vee T_i = T, T_i; T \in Th(S), i \in N\} \subset Th(S), \quad (7)$$

где порядок  $<$  определен выше. Элементы множества  $U(T)$  – это вершины, для которых вершина  $T$  является достижимой на орграфе  $\vec{G}(S)$ . Поэтому множество  $U(T)$  будем называть областью доминирования вершины  $T$  в пространстве  $Th(S)$ .

Укажем некоторые свойства области доминирования  $U(T)$ , исходя из определения (7):

$$U(T) \cap \Sigma \neq \emptyset, \quad (8)$$

$$T'; T'' \in \Sigma, T' \neq T'' \Rightarrow U(T') \cap U(T'') = \emptyset. \quad (9)$$

Из соотношений (8); (9), очевидным образом, следует

**Предложение 5.** Если  $T \notin \Sigma$ , то область  $U(T)$  – есть сеть, у которой элементы соответствующего подмножества  $\Sigma' \subseteq \Sigma$  являются источниками, а вершина  $T$  – стоком.

**Предложение 6.**  $T' \in U(T) \Leftrightarrow U(T') \subseteq U(T)$ , (10)

причем, если равенство  $U(T') = U(T)$  выполняется при  $T \neq T'$ , то вершины  $T; T'$  связаны циклом.

**Доказательство.** Соотношение (10) следует из определения (7). Что касается второй части утверждения, то, в этой связи, рассмотрим логическую цепочку вида

$$\Sigma \mapsto \dots \mapsto T \mapsto \dots \mapsto T' \mapsto \dots \mapsto T, \quad (11)$$

где вершины  $T; T'$  связаны циклом. Из (11) следует:

$$U(T') = \{T_i | T_i < T' \vee T_i = T' \vee T' < T_i < T\}. \quad (12)$$

Сравнивая (7); (12), имея в виду (11), устанавливаем равенство  $U(T') = U(T)$  для всех вершин  $T'$ , охваченных циклом. Что и требовалось доказать.

**Предложение 7.** Если  $U(T') \cap U(T'') \neq \emptyset$  и области  $U(T'), U(T'')$  не связаны отношением включения, то среди вершин  $T \in U(T') \cap U(T'')$  хотя бы одна является точкой ветвления в ориентированной сети  $\vec{G}(S)$ .

**Доказательство.** Если области  $U(T'), U(T'')$  не связаны включением, то между вершинами  $T'; T'' \in Th(S)$  не существует маршрута. Пусть  $\vec{l}(T; T')$ ;  $\vec{l}(T; T'')$  – соответственно, маршруты из  $T$  в  $T'$  и  $T''$ . Тогда  $\vec{l}(T; T') \cap \vec{l}(T; T'') = \vec{l}(T; T_k)$  – общий участок маршрутов по вершинам пересечения  $U(T') \cap U(T'')$  с началом в вершине  $T$  и концом в  $T_k$  (случай  $T = T_k$  не исключается). Т.к. концы дуг, начинающихся в вершине  $T_k$ , с одной стороны, располагаются в области  $U(T') \setminus U(T'')$ , а с другой – в области  $U(T'') \setminus U(T')$  и эти области не пересекаются, то

$T_k$  – точка ветвления маршрутов  $\bar{l}(T;T')$ ;  $\bar{l}(T;T'')$ , расположенная в заданной области  $U(T') \cap U(T'')$ . Что и требовалось доказать.

**Следствие 2.** Если  $U(T') \cap U(T'') \subset \Sigma$  и  $T'; T'' \notin \Sigma$ , то каждая аксиома  $\alpha \in U(T') \cap U(T'')$  является точкой ветвления в сети  $\bar{F}(S)$ .

Пусть  $U(T)$  – область доминирования вершины  $T \in Th(S)$ , а  $\bar{l}(\Sigma;T)$  – множество маршрутов, ведущих от аксиом  $\Sigma$  к вершине  $T$ . Длина каждого такого маршрута определяется соотношением (4) и пусть  $|\bar{l}(\Sigma;T)|$  – множество длин маршрутов множества  $\bar{l}(\Sigma;T)$ . Согласно (5), введем расстояние от  $\Sigma$  до  $T$ :

$$|\bar{r}(\Sigma;T)| = \inf |\bar{l}(\Sigma;T)|, \quad (13)$$

и, кроме того, определим диаметр области  $U(T)$ :

$$d(U(T)) = \sup |\bar{l}(\Sigma;T)|. \quad (14)$$

Введенные размеры (13), (14) и емкость  $|U(T)|$  связаны очевидным неравенством  $|\bar{r}(\Sigma;T)| \leq d(U(T)) \leq |U(T)| - 1$  и представляют интерес в целях методической оптимизации теории  $Th(S)$ .

#### 4. Емкости предикатных вершин семантической сети

Метрика (6), по существу, задает геометрическое расстояние между вершинами на орграфе  $\bar{F}(S)$ , определяя это расстояние количеством ребер, которые укладываются на минимальном маршруте, соединяющем эти вершины в основании  $\Gamma(S)$  орграфа  $\bar{F}(S)$ . При этом полностью игнорируется ориентация дуг  $\bar{F}(S)$ , так что при описании дедуктивной теории  $Th(S)$  такая метрика вряд ли целесообразна.

В данном случае более приемлемой представляется концепция емкостей Г. Шоке [9], которая вводится аксиоматически в абстрактном хаусдорфовом пространстве  $X$  как некоторая числовая функция  $C(K)$ , определенная на компактах  $K$  пространства  $X$ , которая, в первую очередь, должна монотонно возрастать:

$$K_1 \subset K_2 \Rightarrow C(K_1) \leq C(K_2). \quad (15)$$

Распространить в полной мере концепцию емкостей Шоке в информационное пространство  $Th(S)$  не удастся, однако некий аналог емкости в  $Th(S)$  ввести все-таки можно. Для этого рассмотрим множество  $Fh(S) = \{U(T) / T \in Th(S)\}$ , которое определяет счетное покрытие пространства  $Th(S)$  элементами конечной мощности  $1 \leq |U(T)| < \infty$ . На множестве  $Fh(S)$  определим числовую функцию  $I: Fh(S) \rightarrow N$  по правилу:

$$\forall U(T) : I(U(T)) = |U(T)|. \quad (16)$$

Из соотношений (7), (10) видно, что функция  $I$  вида (16) удовлетворяет условию (15), т.к.  $U(T') \subset U(T) \Rightarrow |U(T')| \leq |U(T)|$ . Поэтому функцию  $I$  назовем емкостью области доминирования  $U(T)$  или  $T$ -емкостью. Функция  $I$  емкостью в смысле Шоке не является, т.к. множество  $Fh(S)$ , очевидно, не замкнуто по операциям  $\cup$  и  $\cap$ .

В рамках концепции емкости (16), на орграфе  $\bar{F}(S)$  определим функцию:

$$\forall T; T' \in Th(S) : \rho(T;T') = \left| |U(T)| - |U(T')| \right|. \quad (17)$$

Функция  $\rho(T;T')$  удовлетворяет аксиомам симметричности и треугольника, но не удовлетворяет аксиоме тождества, поскольку  $\rho(T;T')=0$  не влечет  $T=T'$  (предложение 6). Поэтому

му функция  $\rho(T;T')$  задает псевдометрику (или отклонение) в пространстве  $Th(S)$ . Метрика получается при факторизации  $Th(S)$  с помощью эквивалентности:

$$T \square T' \Leftrightarrow |U(T)| = |U(T')|. \quad (18)$$

Тогда для любого класса  $[T] \in Th(S)/\sim$  фиксируется емкость  $||[T]|| = |U(T)|$ , после чего, определив функцию (17) на классах, задается метрика фактор-пространства  $Th(S)/\sim$ .

### 5. Сетевая оптимизация в информационном пространстве дедуктивной теории: минимизация длины и емкости доказательства

Процедура доказательства некоторого утверждения  $T \in Th(S)$  в сети  $\vec{G}(S)$  представляется следующим образом. Среди предикатных вершин  $Th(S)$  имеется конечное множество посылок  $T_{i_1}; \dots; T_{i_k}$ , для которого в семантической сети  $\vec{G}(S)$  существует единственная  $F$ -вершина в виде функции  $f_m \in F$  с областью определения  $Dom f_m = \{T_{i_1}; \dots; T_{i_k}\}$ , реализующая неформальный логический вывод

$$f_m : T_{i_1}; \dots; T_{i_k} \mapsto T. \quad (19)$$

В связи с выводом (19) возникают два случая. Если  $Dom f_m \subseteq \Sigma$ , то мы имеем неформальный вывод  $T$  из аксиом системы  $\Sigma$  и, следовательно, в (19) в данном случае следует считать  $m=1$ ,  $0 < k \leq s$ , где  $s = |\Sigma|$ . Тогда доказательство утверждения  $T$  представляет собой множество  $B(T) = \{T_{i_1}; \dots; T_{i_k}; T\}$ , упорядоченное логическим следованием (19), и это доказательство осуществляется за один шаг по схеме, показанной на рис. 1.

Если  $Dom f_m \not\subseteq \Sigma$ , то  $0 < |Dom f_m \setminus \Sigma| = n \leq k$ ;  $m > 1$  и каждая из вершин  $T_{i_1}; \dots; T_{i_n} \in Dom f_m \setminus \Sigma$ , в свою очередь, оказывается следствием, однозначно вытекающим из соответствующих посылок предикатной области  $Th(S)$ , так что имеется единственный набор функций  $f_{m-1;1}; \dots; f_{m-1;n} \in F$ , реализующих доказательства:

$$f_{m-1;1} : T_{i_1}^1; \dots; T_{i_1}^{j_1} \mapsto T_{i_1}; \dots; f_{m-1;n} : T_{i_n}^1; \dots; T_{i_n}^{j_n} \mapsto T_{i_n}. \quad (20)$$

К посылкам в доказательствах (20) вновь применяются рассуждения, аналогичные (19), и т.д., пока не приходим к доказательствам вида:

$$f_{11} : \Sigma'_1 \mapsto T_1; f_{12} : \Sigma'_2 \mapsto T_2; \dots; f_{1r} : \Sigma'_r \mapsto T_r, \quad (21)$$

где  $\Sigma'_1; \dots; \Sigma'_r \subseteq \Sigma$ . Таким образом, процедура доказательства утверждения  $T \in Th(S)$  в общем случае представляется частично упорядоченным множеством  $B(T)$ , которое составлено из предикатных вершин, структурированных посредством функций (19)-(21).

Отметим некоторые очевидные свойства процедуры доказательства  $B(T)$ :

1. Аксиомы системы  $\Sigma' \subseteq \Sigma$ ;  $\Sigma' \subset B(T)$  образуют систему минимальных элементов частично упорядоченного множества  $B(T)$ , а вершина  $T$  есть наибольший элемент данного множества.

2. Пусть  $U(T)$  – область доминирования вершины  $T$ . Тогда  $B(T) \subseteq U(T)$ .

3. Область  $U(T)$  представляется в виде объединения всевозможных доказательств утверждения  $T$ .

Имея в виду неформальный логический вывод (19), длину  $|\vec{b}(T)|$  доказательства  $B(T)$  определим следующим образом:

$$|\vec{b}(T)| = \max(|\vec{b}(T_{i_1})|; \dots; |\vec{b}(T_{i_k})|) + 1. \quad (22)$$





няться широкая востребованность теоремы Пифагора на всем протяжении математического развития и, следует заметить, что потенциал идей, исходящих из этого замечательного утверждения, судя по всему, далеко не исчерпан [12], [13].

В современной учебно-методической литературе по геометрии в основном можно встретить следующие варианты доказательств теоремы Пифагора:

1. Классическое доказательство Евклида [1], при котором на сторонах прямоугольного треугольника строятся квадраты и в результате получается известная конфигурация в виде «пифагоровых штанов».

2. Доказательства индийского математика Бхаскара (1150 г.) [11]; [14], которые известны в следующих двух вариантах. По первому варианту доказательство Бхаскара-I реализуется с помощью построений, представленных на рис. 2. Легко видеть, что сумма площадей квадратов  $x^2+y^2$  на рис. 2, а равна площади  $z^2$  квадрата на рис. 2, б. По второму варианту доказательство Бхаскара-II используется подобие треугольников (рис. 2, в):  $\triangle ACD \sim \triangle ABC$ ,

$\triangle BCD \sim \triangle ABC$ , откуда следуют пропорции  $\frac{AB}{AC} = \frac{AC}{AD}$ ;  $\frac{AB}{BC} = \frac{BC}{BD}$  и далее  $AC^2 = AB \cdot AD$ ;

$BC^2 = AB \cdot BD \Rightarrow AC^2 + BC^2 = AB \cdot AD + AB \cdot BD = AB(AD + BD) = AB^2$ , т.е. получается утверждение теоремы Пифагора.

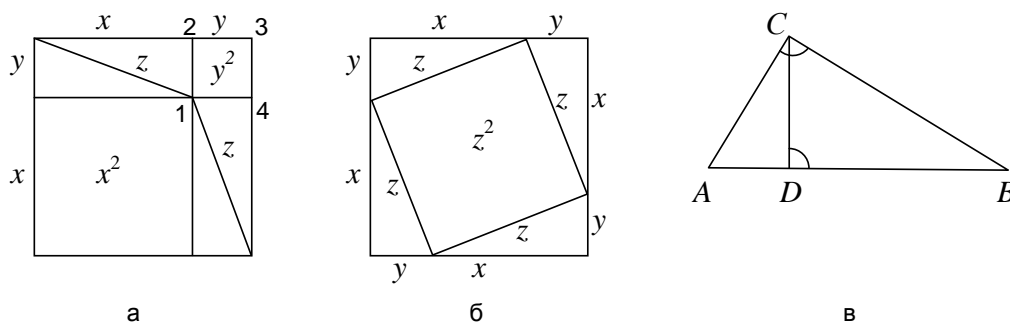


Рис. 2

3. Векторный вариант доказательства с помощью скалярного произведения в аксиоматике Вейля [15].

Для удобства анализа метрические характеристики  $|\vec{b}_i(T)|$ ;  $|B_i(T)|$  доказательств теоремы Пифагора  $T$  представлены в табл. 1 в обозначениях п. 5 в аксиоматиках Евклида [1], Гильберта [16] и Вейля [15].

Таблица 1

Метрические характеристики основных вариантов доказательств теоремы Пифагора в различных системах аксиом

Доказательство	Аксиоматика	$i$	$ \vec{b}_i(T) $	$ B_i(T) $
Евклид	Евклид (IV в. до н.э.)	0	10	36
Бхаскар-I		1	9	23
Бхаскар-II	Д. Гильберт (1899)	2	12	35
Векторно-точечное	Г. Вейль (1918)	3	2	12

Характеристики доказательств  $|\bar{b}_i(T)|; |B_i(T)|$  в табл. 1 упорядочим по возрастанию:

$$|\bar{b}_3(T)| < |\bar{b}_1(T)| < |\bar{b}_0(T)| < |\bar{b}_2(T)| ; \tag{27}$$

$$|B_3(T)| < |B_1(T)| < |B_2(T)| < |B_0(T)| , \tag{28}$$

после чего проводим процедуру оптимизации в соответствии с (25); (26), откуда следует:

$$|\bar{b}_3(T)| = \text{opt}(|\bar{b}_0(T)|; |\bar{b}_1(T)|; |\bar{b}_2(T)|; |\bar{b}_3(T)|) , \tag{29}$$

$$|B_3(T)| = \text{opt}(|B_0(T)|; |B_1(T)|; |B_2(T)|; |B_3(T)|) . \tag{30}$$

Результаты оптимизации (29); (30), отдающей предпочтение векторно-точечному варианту построения евклидовой геометрии в духе Вейля [15], вообще говоря, особого удивления не вызывают, т.к. данный подход, среди рассмотренных, обладает минимальной аксиоматической базой. В то же время, следует напомнить относительно осторожности, с которой векторный аппарат должен внедряться в школьную геометрию. Данное обстоятельство, определенно, нашло отражение в отечественной учебно-методической литературе по элементарной геометрии, анализ которой проводится в табл. 2, где, для примера, рассмотрены основные варианты доказательств теоремы Пифагора и их использование в российском математическом образовании за период 1768-2000 гг.: 1 – доказательство Евклида; 2 – доказательство Бхаскара-I (рис. 2, а, б); 3 – доказательство Бхаскара-II (рис. 2, в); 4 – векторно-точечное доказательство по Вейлю.

Таблица 2

Основные варианты доказательств теоремы Пифагора в российском математическом образовании

Учебник	Авторы	Год издания	Доказательства			
			1	2	3	4
Элементы геометрии	Курганов Н.Г.	1768	+	-	-	-
Основания геометрии	Гурьев С.Е.	1811	+	-	-	-
Элементарная геометрия	Давидов А.Ю.	1864	-	-	+	-
Элементарная геометрия	Киселев А.П.	1893	+	+	+	-
Рабочая книга по математике	Берг М.Ф. и др.	1930	-	+	-	-
Геометрия	Никитин Н.Н.	1961	-	+	-	-
Преобразование. Векторы	Болтянский В.Г., Яглом И.М.	1964	-	-	-	+
Геометрия	Колмогоров А.Н. и др.	1980	-	-	+	-
Геометрия	Александров А.Д. и др.	1991	-	+	-	-
Геометрия	Атанасян Л.С. и др.	1992	-	+	-	+
Геометрия	Погорелов А.В.	1993	-	-	+	+
Геометрия	Шарыгин И.Ф.	2000	-	-	+	+

Характеризуя в целом данные табл. 2, можно сделать вывод, что пока в школьной геометрии, в основном, выдерживается евклидова методическая линия, образы которой достаточно наглядны: среди доказательств теоремы Пифагора наибольшее распространение имеют доказательства Бхаскара-I, II (рис. 2). Более абстрактные векторно-точечные представления в духе Вейля в школьной программе выражены в меньшей степени и появились сравнительно недавно в контексте известной образовательной концепции А.Н. Колмогорова (1967). Впрочем, учитывая нарастающую информатизацию человеческой деятельности, в не-

далеком будущем более востребованным может оказаться именно это абстрактное направление. Этот факт отражает оптимизация (29); (30), отдавая предпочтение векторно-точечному варианту доказательства теоремы Пифагора, при котором длина и емкость доказательства минимальны. Действительно, в рамках концепции информационного пространства, это означает транспортировку соответствующей актуальной информации в более компактном виде кратчайшим путем (т.е. за меньшее время). Последнее вполне отвечает требованиям современного образования, правда, при этом также должны быть оптимизированы вопросы презентативности данной информации.

Результаты работы позволяют составлять взвешенные и согласованные программы по математике, допускающие эффективное тематическое планирование предметного материала на базе предложенных принципов оптимизации дедуктивной теории. Эти же принципы эффективно реализуются при подготовке соответствующей учебно-методической литературы, а также в случае выработки соответствующих экспертных рекомендаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Начала Евклида. С комментариями Д.Д. Мордухай-Болтовского. М.-Л.: ГИТТЛ, 1948-1950. 340 с.
2. Искусственный интеллект. Справочник. Книга 2: Модели и методы / под ред. проф. Д.А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. 304 с.
3. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления / Д.А. Поспелов. М.: Энергоиздат, 1981. 231 с.
4. Яблонский С.В. Введение в дискретную математику / С.В. Яблонский. М.: Наука 1986. 384 с.
5. Вагин В.Н. Дедуктивный вывод на семантических сетях в системах принятия решения / В.Н. Вагин, В.Г. Кикнадзе // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1984. № 5. С. 104-120.
6. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. М.: Мир, 1976. 165 с.
7. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.
8. Уилсон Р. Введение в теорию графов / Р. Уилсон. М.: Мир, 1977. 207 с.
9. Деллашери К. Емкости и случайные процессы / К. Деллашери. М.: Мир, 1975. 192 с.
10. Яглом А.М. Вероятность и информация / А.М. Яглом, И.М. Яглом. М.: Наука, 1973. 511 с.
11. Волошинов А.В. Пифагор / А.В. Волошинов. М.: Просвещение, 1993. 224 с.
12. Фирстов В.Е. Нетрадиционные геометрические интерпретации, полугрупповая теория и генеалогия пифагоровых троек / В.Е. Фирстов. Саратов: Научная книга, 2004. 92 с.
13. Фирстов В.Е. Рекуррентные последовательности, фрактальные иерархические структуры и конические сечения при конструктивных обобщениях теоремы Пифагора / В.Е. Фирстов. Саратов: Научная книга, 2005. 136 с.
14. Глейзер Г.И. История математики в школе. VII-VIII классы / Г.И. Глейзер. М.: Просвещение, 1982. 240 с.
15. Егоров И.П. Геометрия / И.П. Егоров. М.: Просвещение, 1979. 256 с.
16. Гильберт Д. Основания геометрии / Д. Гильберт. М.-Л.: ГИТТЛ, 1948. 491 с.

#### **Фирстов Виктор Егорович –**

кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры «Компьютерная алгебра и теория чисел»  
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

Г.П. Шиндяпин, А.А. Матутин

**ОСОБЕННОСТИ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕФРАКЦИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ**

*В задачах рефракции ударных волн на свободной поверхности, разделяющей газовую и газожидкостную среды, при падении ударной волны со стороны более плотной среды обычно лишь малая часть энергии передается в область газа, что соответствует относительно малой интенсивности преломленной волны по сравнению с интенсивностью падающей ударной волны. Определена область существования нелинейной рефракции ударной волны с волной разрежения, когда интенсивность преломленной волны сравнима с интенсивностью падающей ударной волны и значительная часть энергии передается из газожидкостной среды в газовую, возникающей в случае близких значений для скоростей звука в газовой и газожидкостной средах.*

G.P. Shindyapin, A.A. Matutin

**A SHOCK WAVE NONLINEAR REFRACTION FEATURES**

*In problems of a refraction of shock waves on the free surface sharing gas and gas-liquids environments, at falling a shock wave from the side of denser environment usually only small part of energy is passed in area of gas that corresponds concerning small intensity of the refracted wave in comparison with intensity of a falling shock wave. The area of existence of a nonlinear refraction of a shock wave with a wave of under pressure when intensity of the refracted wave is comparable to intensity of a falling shock wave is determined and the significant part of energy is passed from gas-liquids environments in gas, arising in case of close values for speeds of a sound in gas and gas-liquids environments is determined here.*

1. Теоретический интерес к задачам рефракции ударных волн (УВ) обусловлен необходимостью исследования широкого класса актуальных задач, возникающих в приложениях, к которым относятся взаимодействия УВ с поверхностью океана, гидравлический удар, подводный взрыв, возникновение цунами и др.; а также сложностью и противоречивостью исследуемых явлений [1, 2].

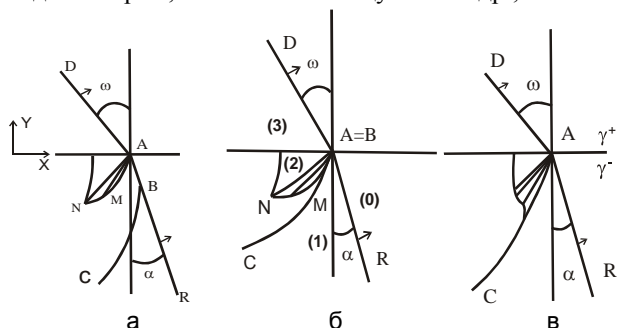


Рис. 1. Режимы нелинейной рефракции

При падении УВ AR (BR) относительной интенсивности  $\Delta p / \rho_0 c_0^2$  ( $\Delta p$  – перепад давления,  $\rho_0, c_0$  – плотность и скорость ударной волны в покоящейся газожидкостной среде), под углом  $\alpha$  к вертикали на свободную поверхность КА, разделяющую газовую и газожидкостную пузырьковую смеси с относительным массовым газосодержанием ( $\gamma = m_{II}/m_I$ )  $\gamma^+, \gamma^-$  со стороны более плотной среды, возник-

кают картины нерегулярной, регулярной и регулярной с ударной волной (закрывающей зону разрежения) рефракции (рис. 1, а, б, в) характеризуемые фронтами падающей AR, отраженной AC, преломленной AD УВ и областью разрежения AMN.

Используется локально равновесная термодинамическая модель газожидкостной среды (ГЖС) [1], позволяющая для общего случая уравнений состояния жидкой и газообразной фаз (индекс I соответствует жидкости, II – газу)  $\rho_I=f(p)$ ,  $p=R\rho_{II}T$  записать уравнения термодинамического и калорического состояния смеси, а также формулы для адиабатической скорости звука  $c$  в виде

$$p \left[ \frac{a}{\rho} - \frac{b}{f(p)} \right] = c_v T, \quad c^2 = \frac{a+1}{a-b\rho} \frac{d}{dp} \frac{p}{f(p)}, \quad a = (1+\gamma)b, \quad b = \frac{c_v}{\gamma R}. \quad (1)$$

2. При исследовании рефракции УВ на свободной поверхности (рис. 1, б), разделяющей газожидкостные среды с различными газосодержаниями  $\gamma^+$ ,  $\gamma^-$ , при падении УВ со стороны более плотной среды, кроме локальных условий, в точке взаимодействия А, на фронтах падающей AR, преломленной AD и отраженной AC волн, а также на свободной поверхности АК, используется пространственное решение для волны разрежения AMN [1,3]. При падении УВ относительно малой интенсивности ( $P_{10} = (p_1 - p_0)/\rho_0 c_0^2 \ll 1$ ), характерных для ГЖС пузырькового типа ( $c$  относительно малым газосодержанием  $0 \leq \gamma^- \leq 10^{-4}$ , абсолютная интенсивность  $(p_1 - p_0)$  при этом может быть велика), течение во всей области возмущения с точностью до  $P_{10}^2$  можно считать безвихревым, а следовательно, потенциальным. Вводя потенциал скорости  $\bar{W} = \nabla \Phi$  и переходя к безразмерным переменным

$$\Phi(x, y, t) = c_0^2 t f(\xi, \eta), \quad \xi = \frac{x}{c_0 t}, \quad \eta = \frac{y}{c_0 t}; \quad \frac{c}{c_0} = C^*, \quad \frac{p - p_0}{B_0} = P^*, \quad (2)$$

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = H, \quad \frac{u}{c_0} = f_\xi, \quad \frac{v}{c_0} = f_\eta, \quad B_0 = c_0^2 \rho,$$

можно свести [1,3] систему уравнений динамики газожидкостной среды с уравнением состояния (1) к уравнению для потенциала  $f(\xi, \eta)$

$$C^{*2} (f_{\xi\xi} + f_{\eta\eta}) = (f_\xi - \xi)^2 f_{\xi\xi} + 2(f_\xi - \xi)(f_\eta - \eta) f_{\xi\eta} + (f_\eta - \eta)^2 f_{\eta\eta}, \quad (3)$$

$$C^{*2} = 1 + 2(1 - R_0)G, \quad G = f - \xi f_\xi - \eta f_\eta + \frac{1}{2} f_\xi^2 + \frac{1}{2} f_\eta^2$$

Решения для центрированной волны разрежения AMN, возникающей при рефракции УВ на свободной поверхности в т. А ( $\xi_A, \eta_A$ ) в переменных  $\xi - \xi_A = r \cos \theta$ ,  $\eta - \eta_A = r \sin \theta$ , имеют вид ( $F_0, c = \text{const}$ )

$$\frac{u}{c_0} = \alpha \beta \sin \theta \sin \alpha(\theta + c) + \beta \cos \theta \cos \alpha(\theta + c) + \xi_A,$$

$$\frac{v}{c_0} = -\alpha \beta \cos \theta \sin \alpha(\theta + c) + \beta \sin \theta \cos \alpha(\theta + c) + \eta_A, \quad (4)$$

$$\alpha = \sqrt{(R_0 - 1)/R_0}, \quad \beta = \pm \sqrt{D/(R_0 - 1)}; \quad D = 1 + (1 - R_0)[2F_0 - (\xi_A^2 + \eta_A^2)].$$

Условия динамической совместности для участка фронта УВ  $\xi = \xi(\eta)$ , характеризуемого интенсивностью  $P_j = (p_j - p_i)/(\rho_0 c_0^2)$  и углом наклона  $\xi' = d\xi/d\eta$  (индекс I – характеризует параметры перед фронтом, j – за фронтом), можно представить [1,3] в виде (коэффициенты  $n_1, n_2, n_3$  – зависят от газосодержания среды  $\gamma$ )

$$\frac{\rho_i \left[ (\xi - \eta \xi') - (u_i/c_0 - \xi v_i/c_0) \right]^2}{\rho_0 (1 + \xi'^2)} = N(P_{ji}), \quad \frac{v_j - v_i}{c_0} = \xi' \left( \frac{u_i}{c_0} - \frac{u_j}{c_0} \right), \quad \varepsilon_{ij} = (p_j - p_i) / p_0$$

$$\frac{\rho_j}{\rho_i} = \frac{N(P_{ji})}{N(P_{ji}) - P_{ji}}, \quad P_{ji} = \frac{\rho_i}{\rho_0} \left[ (\xi - \eta \xi') - \left( \frac{u_i}{c_0} - \xi' \frac{v_i}{c_0} \right) \right] \left( \frac{u_i}{c_0} - \frac{u_j}{c_0} \right), \quad P_{ij} = p_0 \varepsilon_{ij} / (\rho_0 c_0^2) \quad (5)$$

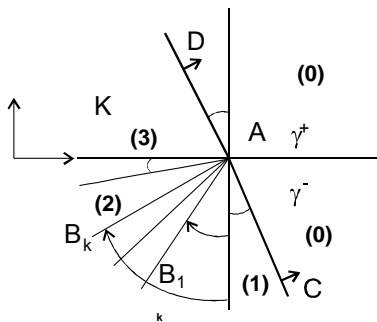
$$\gamma_j = \gamma_i, \quad N(P_{ji}) = \frac{n_1 P_{ji} (P_{ji} + n_2)}{P_{ji} - n_3 [p_j / f(p_j) - p_i / f(p_i)]}$$

Условия на свободной поверхности  $F(\xi, \eta) = 0$  ( $\xi = \xi(\eta)$ ), разделяющей ГЖС с различными газосодержаниями  $\gamma^+$ ,  $\gamma^-$ , но совпадающими давлениями и нормальными к поверхности составляющими скорости, равными скорости  $u_n$  движения элемента поверхности ( $u_n^+ = u_n^- = u_n$ ) в переменных (2) примет вид ( $c_0 = c_0^-$ )

$$p^+ = p^-, \quad \frac{v^\pm - c_0 \eta}{u^\pm - c_0 \xi} = \frac{\partial F}{\partial \xi} / \frac{\partial F}{\partial \eta} \quad \left( = \frac{1}{\xi'} \right). \quad (6)$$

Для случая рефракции, в средах с существенно различающимися значениями скоростей звука  $c_0(\gamma^+)$ ,  $c_0(\gamma^-)$  расчеты с помощью (4)-(6) параметров регулярной (рис. 2) рефракции  $\varepsilon_{20}$ ,  $\omega$ ,  $p_1$ ,  $\beta_k$ ,  $\delta$  при известных  $P_{10}$  или  $\varepsilon_{10} = (p_1 - p_0) / p_0$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma^+$ ,  $\gamma^-$ ;  $p_0, T_0$  выявили ряд закономерностей процесса [1,3]:

- границу области существования регулярной рефракции типа А (перехода к нерегулярной рефракции);



- границу типа В, соответствующую условию  $\omega = 0$ ;

- границу типа С, соответствующую верхнему предельному значению  $\gamma^-$ , при котором отсутствует область разрежения.

Расчеты [1,3] показывают, что относительная интенсивность преломленной волны  $\varepsilon_{30}$  весьма мала ( $\varepsilon_{30} = \varepsilon_{20} = 10^{-3} \div 10^{-5}$ ) и возрастает с ростом газосодержания  $\gamma$  до некоторого предельного значения, соответствующего границе С.

3. Для сред с близкими значениями  $c_0(\gamma^+)$ ,  $c_0(\gamma^-)$ , соответствующих, например, случаю рефракции УВ на поверхности океана, разделяющей воздушную среду с  $c_0(\gamma^+)$  и водовоздушную ГЖС с  $c_0(\gamma^-)$  при газосодержаниях  $\gamma^- \approx 10^{-6}$ , для относительно слабых УВ, характеризуемых малым параметром  $\bar{\varepsilon} = L_0(\gamma) \varepsilon_{10}$  ( $0 \leq L_0(\gamma) \leq 1, 0; \bar{\varepsilon} \ll 1$ ), асимптотический анализ соотношений (4)-(6) приводит к неожиданным результатам относительной интенсивности  $q^+$  преломленной УВ. Эта интенсивность может быть сравнима с интенсивностью падающей УВ.

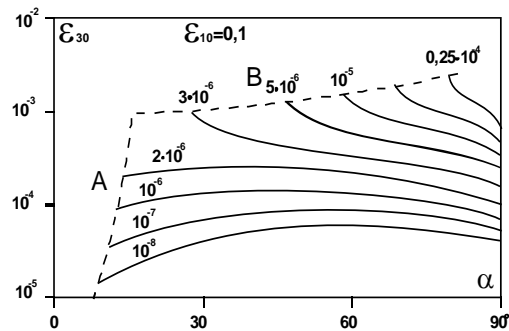


Рис. 2. Зависимость интенсивности преломленной волны от  $\alpha$ ,  $\gamma^-$  при фиксированном  $\varepsilon_{10}$

Вводя асимптотическое разложение для области больших градиентов (области коротких волн) [1]

$$\xi = 1 + \bar{\varepsilon}X, \quad \eta = \bar{\varepsilon}^{1/2}Y; \quad R_0/c_0 t = 1 + \bar{\varepsilon}\delta, \quad \theta = \bar{\varepsilon}^{1/2}Y; \quad \delta = X + 1/2Y^2, \\ \frac{u}{c_0} = \bar{\varepsilon} \frac{\mu}{R_0}, \quad \frac{v}{c_0} = \bar{\varepsilon}^{3/2} \frac{\nu}{R_0}; \quad \frac{p-p_0}{\rho_0 c_0^2} = P_{10}P^{(1)}, \quad \frac{p^- - p_0}{\rho_0} = P_{10}H^{(1)}; \quad \bar{\varepsilon} = R_0 P_{10} = L_0 \varepsilon_{10}, \quad (7)$$

получим решение (4) для волны разрежения в виде

$$\mu = -1/2z^2 + \delta_A, \quad \nu = 1/3z^3 - \mu Y + d, \quad z = (X - X_A)/Y, \quad (8)$$

а условие на свободной поверхности, характеризующее скорость движения т. А вдоль оси ОХ ( $N$  – скорость фронта ударной волны;  $\varepsilon^+ = (p_3 - p_0)/p_0$ ,  $\varepsilon^- = (p_1 - p_0)/p_0$ ) – в виде

$$N^- / \cos \alpha = N^+ / \cos \omega, \quad N^\pm = 1 + \frac{1}{2} L_0^\pm \varepsilon^\pm. \quad (9)$$

Записывая решение (8) на переднем и заднем  $AB_1, AB_k$  фронтах разрежения

$$\mu_1 = 1, \quad \beta_1^v = (tg \beta_1)/\bar{\varepsilon}^{1/2}; \quad \mu_2 = q^+, \quad \beta_k^v = tg \beta_k / \bar{\varepsilon}^{1/2}, \quad \nu_2 = q^+ \omega^v, \quad \omega^v = tg \omega / \bar{\varepsilon}^{1/2},$$

получим при  $X_A = (\alpha^{v^2} + 1)/2$ ,  $\alpha^v = (tg \alpha)/\bar{\varepsilon}^{1/2}$ ,  $d = \alpha^{v^2} - 1/3(\alpha^{v^2} - 1)^{3/2}$  условия

$$\beta_k^v = \sqrt{2(X_A - q^+)} \quad , \quad \omega^{v^2} q^{+2} = \left[ \frac{1}{3} (2(X_A - q^+))^{3/2} + d \right]. \quad (10)$$

Условие (9), в принятых обозначениях, примет вид

$$2c_\gamma = (\omega^{v^2} - \alpha^{v^2}) + \frac{L_0^+}{L_0} q^+ - 1. \quad (11)$$

Исключая из (10) и (11)  $\omega^{v^2}$ , получим окончательно

$$2c_\gamma = \frac{1}{q^{+2}} \left\{ \frac{1}{3} [2(X_A - q^+)]^{3/2} + d \right\}^2 - \alpha^{v^2} + \frac{L_0^+}{L_0} q^+ - 1. \quad (12)$$

Расчеты согласно (10)-(12) параметров рефракции  $q^+, \omega$  (рис. 3) при известных  $\alpha, \gamma^-, \varepsilon_{10}$  выявили ряд закономерностей:

- границу области существования регулярной рефракции, типа А;
- границу типа В, соответствующую условию

$\omega=0$ ;

- границу типа D ( $c_\gamma=0$ ), на которой исчезает волна разрежения.

Расчеты показывают, что интенсивность преломленной волны  $q^+ = \varepsilon_{30}/\varepsilon_{20}$  сравнима с интенсивностью падающей волны и возрастает как при уменьшении газосодержания среды  $\gamma^-$ , так и при увеличении угла наклона падающей волны  $\alpha$ .

В этом случае (рис. 3) близких значений скоростей звука  $c_0(\gamma^+)$ ,  $c_0(\gamma^-)$  ( $c_\gamma \sim O(1)$ ) в отличие от случая с существенно различающимися скоростями звука (рис. 2) интенсивность возмущения в области, занятой газом, сравнима с интенсивностью возмущений в области ГЖС и в процессе рефракции значительная часть энергии передается из газожидкостной среды в газовую.

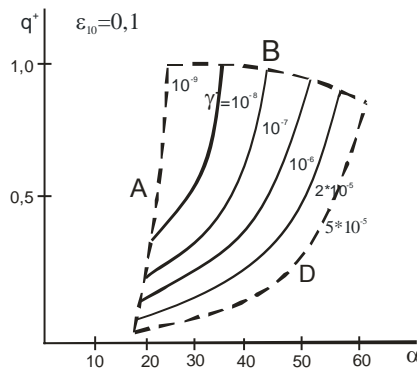


Рис. 3. Зависимость интенсивности преломленной волны  $q^+$  от  $\alpha, \gamma^-$  при фиксированном  $\varepsilon_{10}$

ЛИТЕРАТУРА

1. Шиндяпин Г.П. Нелинейное взаимодействие ударных волн в газах и газожидкостных средах / Г.П. Шиндяпин. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1997. 104 с.
2. Кедринский В.К. Гидродинамика взрыва: эксперимент и модели / В.К. Кедринский. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 435 с.
3. Шиндяпин Г.П. Рефракция ударной волны на свободной поверхности в газожидкостной среде с образованием волны разрежения / Г.П. Шиндяпин, А.Г. Маркушин // Аэродинамика. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1991. Вып. 12 (15). С. 24-32.

**Шиндяпин Георгий Петрович –**

доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой «Вычислительный эксперимент в механике»  
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского

**Матутин Александр Александрович –**

аспирант кафедры «Вычислительный эксперимент в механике»  
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского



---

## НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

---

УДК 621.791.03-52

**П.Ю. Бочкарев, В.В. Шалунов**

### **МОДЕЛЬ ГРУППИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СООТВЕТСТВИИ С ДИАПАЗОНОМ И ВИДОМ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

*Представлено описание созданной авторами модели группирования технологического оборудования в соответствии с диапазоном и видом обрабатываемой поверхности, необходимой при создании системы планирования гибких технологических процессов в условиях многономенклатурного производства.*

**P.Y. Bochkarev, V.V. Shalunov**

### **TECHNOLOGICAL EQUIPMENT GROUPING MODEL ACCORDING TO A RANGE AND ASPECT OF TREATED SURFACES**

*This article describes the exposition of the grouping model of the technological equipment according to a range and aspects of a job surface necessary at creation of system of planning of flexible technological processes in conditions of generic manufacture.*

Система планирования гибких технологических процессов, ориентированная на использование в условиях многономенклатурного производства, должна в полной мере отвечать требованию рационального построения собственной структуры. Это относится ко всем видам обеспечения системы: информационному, математическому, организационному, методическому и т.д., однако в наибольшей степени это требование должно найти свое отражение в программном обеспечении, являющемся своеобразным конечным продуктом на этапах разработки системы.

Цель рациональной структуризации программного обеспечения с ориентацией на ее блочное построение заключается в создании условий, с одной стороны, на унификацию проектных процедур в одном блоке для различных технических и технологических условий (технологическое оборудование, оснастка, технологические переходы и т.д.), что обеспечит исключение возможности непредсказуемого расширения программного обеспечения в процессе создания и развития и насыщения системы в процессе использования. С другой стороны, в одном программном блоке для решения конкретной задачи должны быть использованы одни и те же проектные процедуры, это обеспечит исключение затруднений при разработке

самого программного блока. Очевидно, что эти два требования вступают в противоречие друг с другом, поэтому определение рациональной структуры программного обеспечения системы планирования технологических процессов необходимо вести в области множества решений, являющегося пересечением множеств решений, удовлетворяющих первому и второму требованиям, и принимать окончательное решение на основе целевого критерия, в качестве которого выступает минимизация времени, необходимого для выполнения проектных действий с использованием варианта программного обеспечения.

Решение данной проблемы невозможно выполнить в целом для всей системы ввиду ее сложности, поэтому было принято решение об определении рациональной структуры программного обеспечения на определенных этапах (в соответствии с теорией многоуровневых иерархических систем – эшелонами) системы планирования технологических переходов. Для этого предполагалось для каждого этапа установление логических взаимосвязей между элементарными проектными процедурами, являющимися первоосновой программного обеспечения, и информационным описанием технического, либо технологического объекта, над которым производится данная проектная процедура. Выявленные неким образом связи являются базой для классификации элементарных процедур и их объединения в блоки, для которых создается программное обеспечение.

Применительно к задаче создания системы планирования технологических операций механообработки определение рациональной структуры программного обеспечения должно строиться на совокупности свойств и характеристик технологического оборудования, для которого ведется разработка технологии. К этой совокупности свойств и характеристик необходимо отнести три группы показателей в соответствии со своим функциональным назначением:

- отражающих широту обработки элементарных поверхностей деталей в плане их вида, диапазона конструктивных размеров и характеристик поверхностного слоя;
- отражающих технологические возможности оборудования в аспекте рационального построения структуры технологических операций и эффективной реализации запланированной обработки;
- отражающих исследование отдельных проектных процедур при разработке технологии для данного оборудования.

Исходя из этого предлагается последовательность группирования технологического оборудования с целью определения рациональной структуры системы планирования технологических операций, включающая в себя три структурно независимых блока, объединенных на основе общности информационной базы и по мере перехода от одного блока к другому, осуществляющих последовательное дробление множества оборудования на отдельные подмножества.

Группирование технологического оборудования предполагается проводить в рамках производственного участка, на который распространяется действие системы планирования технологических процессов, составной частью которой является подсистема планирования технологических операций, и база данных объединяет оборудование, находящееся на данном участке. Таким образом происходит группирование с учетом реального производства. Кроме этого, в случае смены одной или нескольких единиц оборудования или выхода их из строя, новое группирование производится по скорректированной базе данных и отражается в виде изменений в структуре системы планирования технологических операций.

Выполненные работы в этом направлении показали, что если установление взаимосвязей между элементарными процедурами и технологическим оборудованием является относительно независимой процедурой от конкретной производственной системы, для которой выполняется, то результаты классификации проектных процедур чутко реагируют на изменения. Это является подтверждением правильности выбранного направления, т.к. обеспечивает самонастраиваемость системы планирования многоименных технологических процессов на конкретные производственные условия.

В качестве примера рассмотрим выполненную последовательность исследований, направленных на определение рациональной структуры программного обеспечения на этапе разработки подсистемы проектирования технологических операций.

В качестве начальной задачи была поставлена проблема формирования групп технологического оборудования, в рамках которых процесс разработки технологии был бы в наибольшей степени однородным. Существующая классификация металлорежущих станков, выполненная на основе их технологического назначения в зависимости от вида обработки, в общих чертах соответствует поставленной проблеме и на основе ее можно было бы сформировать группы, однако у авторов возникли сомнения о традиционной классификации применительно к созданию системы планирования технологических процессов, которые заставили их провести дополнительный анализ. Среди этих сомнений:

– используемая классификация учитывает только вид обработки, оставляя вне поля зрения другие технологические возможности технологического оборудования:

- а) функциональные (вид и количество обрабатываемых элементарных поверхностей; размерные, точностные характеристики и характеристики поверхностного слоя обрабатываемых поверхностей и т.д.);
- б) структурные (возможность одновременной обработки нескольких деталей; параллельная обработка нескольких поверхностей детали и т.д.);

– классификация выполнена на основе субъективного подхода, что не позволяет дать количественную оценку однородности внутри отдельной группы технологического оборудования. Для системы планирования технологических процессов это особенно важно, т.к. позволяет сделать заключение о количестве групп технологического оборудования.

Большой объем данных, характеризующих технологические возможности оборудования, заставили авторов выполнить задачу группирования в три шага.

На первом шаге в качестве объектов были указаны наименования технологического оборудования, имеющегося в рамках производственного участка, а в качестве свойств объекта отмечалась возможность реализации технологического перехода по обработке конкретной элементарной поверхности с заданными размерными характеристиками и показателями, определяющими состояние поверхностного слоя. Диапазоны характеристик были выбраны с учетом рекомендаций, содержащихся в конструкторско-технологических классификациях машиностроительных деталей. Результаты выполненных операций представлены в качестве матрицы  $K_{IJ}$ , в которой множество строк  $I$  представляет множество единиц оборудования в рамках производственного участка, а множество столбцов  $J$  – элементы, отражающие возможность изготовления конкретного вида элементарной поверхности в определенном диапазоне конструктивных размеров и характеристик поверхностного слоя. Элемент  $(i, j)$  матрицы  $K_{IJ}$  содержит информацию в виде логического описания, что диктуется характером описываемого объекта. Элементы матрицы равны 0 или 1 в булевском смысле:  $K[i, j]=1$  означает, что  $i$ -е оборудование может изготовить элементарную поверхность, характеризующуюся  $j$ -м признаком.

Сформированная таким образом матрица не столько содержит ответы на вопросы, стоящие при разработке рациональной структуры системы планирования технологических операций, сколько обладает сведениями о возможностях оборудования. В таких условиях возникает необходимость как-то «переупаковать» исходную информацию в соответствии с конечной целью, чтобы объединенное в отдельные группы оборудование в наибольшей степени было однородно с позиции разработки для него технологий.

В качестве математического аппарата для решения этой задачи был использован кластерный анализ.

Обозначим через  $k_{IJ}$  матрицу величин  $k(i, j)$ ,  $i \in I, j \in J$ , полученных при описании матрицы  $K_{IJ}$ . С матрицей  $k_{IJ}$  связаны следующие величины:

$$k(i) = \sum_{j \in J} k(i, j) ,$$

$$k(j) = \sum_{i \in I} k(i, j) ,$$

$$k = \sum_{i \in I, j \in J} k(i, j) ,$$

а также матрицы

$$f_{IJ} = \{f_{ij} = k(i, j)/k; i \in I, j \in J\} ,$$

$$f_I = \{f_i = k(i)/k; i \in I\} ,$$

$$f_J = \{f_j = k(j)/k; j \in J\} .$$

Вычисленные по  $k_{IJ}$  матрицы  $f_{IJ}$ ,  $f_I$ ,  $f_J$  удовлетворяют аксиомам вероятностных распределений. В частности:

$f_{IJ}$  – распределение, определенное на произведении конечных множеств  $I$  и  $J$ ,

$f_I$  и  $f_J$  – маргинальные распределения для  $f_{IJ}$ .

Исходя из  $f_{IJ}$ , определим следующие условные распределения:

$$f_I^j = \{f_i^j = f_{ij} / f_j; f_j \neq 0, i \in I\} ,$$

$$f_J^i = \{f_j^i = f_{ij} / f_i; f_i \neq 0, j \in J\} .$$

Здесь  $f_I^j$  – условное распределение на  $I$  при известном  $j \in J$ , а  $f_J^i$  – условное распределение  $J$  на известном  $i \in I$ . Матрица  $f_I^j$  называется профилем элемента  $j \in J$  на  $I$ .

Кластеризация основана на переборе множества кластеров-претендентов по критериям непротиворечивости с целью выбора рациональной структуры. Исходной для кластерного анализа как метода автоматической классификации является матрица расстояний или различий, она вычисляется из исходной бинарной матрицы, содержащей данные в логическом виде.

Для вычисления расстояний были проанализированы наиболее часто используемые и цитируемые в научной литературе зависимости, и на основе проведенных ранее исследований в качестве наиболее подходящей для решения данной задачи была выбрана формула Очаи.

$$1 - 11 / (n_i n_i^1)^{\frac{1}{2}} ,$$

$11 = 11(i, i^1)$  – когда  $i$  и  $i^1$  имеют одну и ту же характеристику  $j \in J$ ;  $n_i = \sum_{j \in J} k(i, j)$  – число случаев, когда элемент  $i$  представлен в  $k_{IJ}$ .

Построение дендограммы последовательного объединения технологического оборудования в кластеры выполнялось на основе результатов, полученных с использованием разработанной автоматизированной программы. Дендограмма представлена на рис. 1. В качестве осей использованы:

1) уровень индекса иерархии ( $S = 1 - v$ , где  $v$  – стандартный индекс иерархии, аналогичный расстоянию или показателю близости);

2) номера единиц технологического оборудования, используемого в рамках производственного участка.

Следующий этап решения задачи кластерного анализа – определение оптимального количества создаваемых классификационных групп (кластеров). Сформированные группы технологического оборудования должны обеспечивать полную информационную потребность для отдельного программного модуля с одновременным ограничением объема инфор-

мации в каждой группе, что влияет на быстроту выполнения проектных процедур. Для создаваемой подсистемы автоматизированной разработки операционной технологии существует рациональное количество классификационных групп технологического оборудования, которое обеспечивает оптимальный порядок построения структуры подсистемы с позиции целевой функции системы планирования гибких технологических процессов в целом.

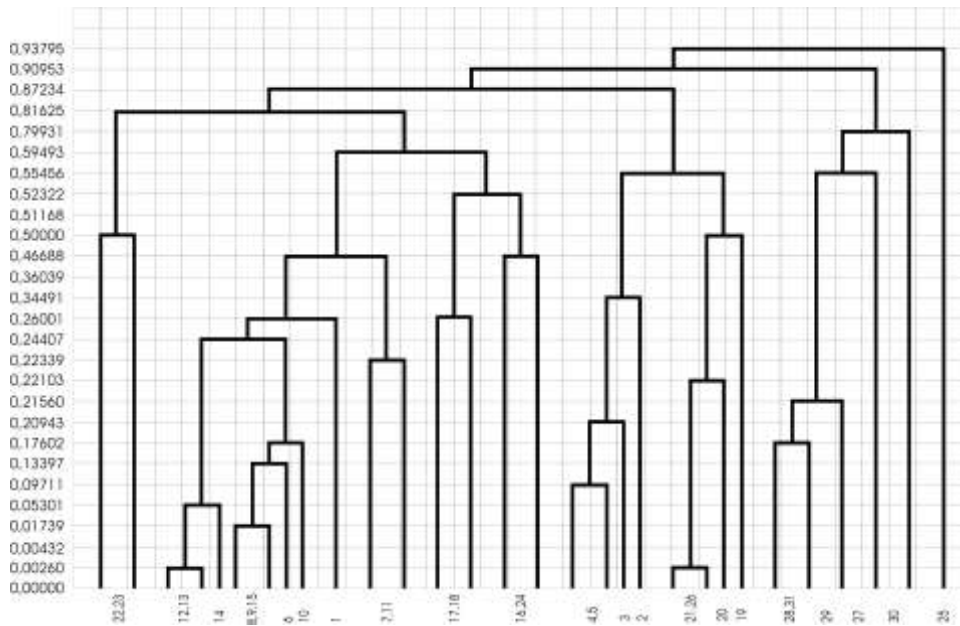


Рис. 1. Дендограмма последовательного объединения технологического оборудования в кластеры

Поиск этих групп осуществлялся следующим образом. Для кластеров, сформированных на каждом уровне иерархии, определялись:

- среднее количество единиц технологического оборудования, объединенных в один кластер;
- максимальное количество единиц технологического оборудования в одном из кластеров;
- количество сформированных кластеров.

Среди этих характеристик максимальное количество единиц технологического оборудования в одном кластере и количество сформированных выступают в качестве ограничений, отвечающих как за степень сложности отдельных программных модулей и препятствующих их непредсказуемому расширению, так и за необоснованное расширение программных модулей.

Графически представленные результаты такого анализа (рис. 2, 3, 4) позволяют сделать заключение, что наиболее рациональным разбиением является классификация на уровне  $v=0.500$ .

Сформированные группы технологического оборудования с привлечением вышепредставленной модели являются результатом первого шага группирования и в основном не противоречат существующей классификации оборудования. Однако это явилось следствием того, что в рамках рассматриваемого производственного участка использовалось оборудование, представляющее широкий спектр технологического оборудования. В том случае, если

оборудование будет в большей степени специализированным и разнообразным, возможно объединение, противоречащее традиционной классификации, но индекс иерархии  $\nu$  будет иметь значение ближе к 1, чем в рассмотренном примере.

Среднее количество единиц оборудования  
в одном кластере

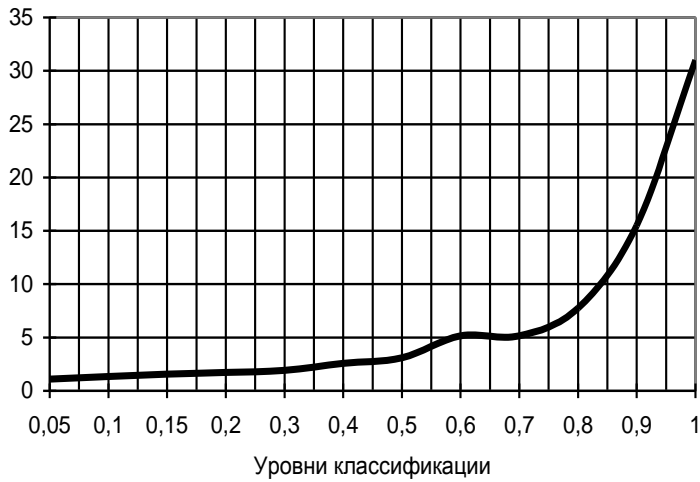


Рис. 2. График соотношения между уровнями классификации и средним количеством единиц технологического оборудования, объединенных в один кластер

Максимальное количество единиц оборудования  
в одном кластере

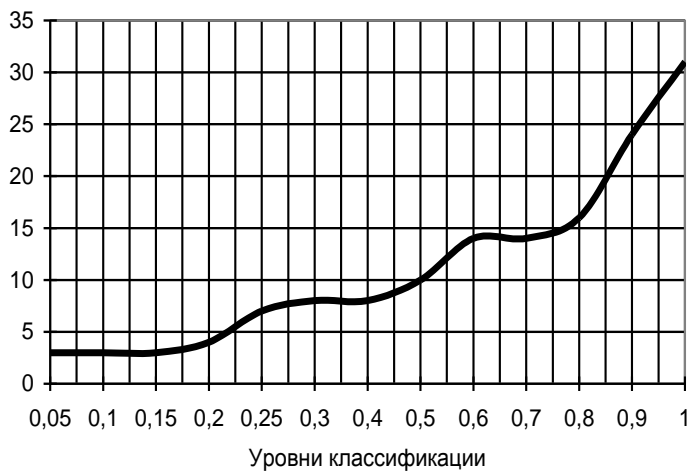


Рис. 3. График соотношения между уровнями классификации и максимальным количеством единиц технологического оборудования в одном кластере



Рис. 4. График соотношения между уровнями классификации и количеством сформированных кластеров

**Бочкарев Петр Юрьевич** –

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

**Шалунов Вячеслав Викторович** –

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

УДК 621.001.63; 621.00.66

**В.Е. Боровских, У.В. Боровских, В.А. Буцынский**

### **ОПЫТ ОЦЕНКИ РЕСУРСА НЕСУЩИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

*Рассмотрена проблема оценки ресурса элементов несущих систем машины на базе большого экспериментального материала.*

**V.E. Borovskih, U.V. Borovskih, V.A. Butsinaky**

### **RESUARCE EXPERIENCE ESTIMATION OF TRANSPORT MACHINE CARRYING SYSTEMS**

*The resource experience estimation of transport machine carrying systems is considered in this work on the base of the vast experimental material.*

На современном этапе одной из основных задач разработчиков автомобильной техники является корректная оценка долговечности элементов конструкции на стадии проектирования и доводки опытного образца. Опыт подобной работы, полученный при проектировании несущих систем троллейбусов, показал, что исследования в этом направлении далеко не закончены [1, 2].

В течение многих лет в СГТУ был выполнен комплекс работ с целью разработки методики оценки долговечности наиболее нагруженных элементов конструкции на стадии проектирования и её доводки.

Отработка методики оценки долговечности выполнялась для конструкции серийно производимого (до 1000 шт. в год) троллейбуса, длительное время находящегося в эксплуатации. С целью выявления мест разрушения и эксплуатационного ресурса в течение пяти лет фиксировались поломки конструкции троллейбусов, находящихся в эксплуатации от одного до семи лет. В результате исследований [3] получены выборки для различных мест разрушения с числом: по ЗиУ-5 ( $N=143$ ); по ЗиУ-9 ( $N=173$ ).

По результатам обработки распределений пробегов до поломки получены статистически значимые параметры средних эксплуатационных пробегов до поломки и коэффициентов вариации  $v=0.2 \dots 0.4$ . Отмечено, что картина разрушения носит усталостный характер и разрушения наступают при значительном числе циклов нагружения  $N_{ци}=10^7$  и более. Таким образом, были получены базовые значения ресурсов рам троллейбусов в эксплуатации, которые в дальнейшем являлись ориентиром при теоретической оценке ресурса этих рам.

При дальнейших исследованиях прочности несущих систем троллейбусов и оценки их ресурса выполнен следующий комплекс научно-исследовательских работ.

Выполнено экспериментальное исследование [4] напряжённо-деформированного состояния (НДС) элементов конструкции троллейбуса от действия статической нагрузки при изгибе и кручении. С этой целью на элементы конструкции было наклеено 645 тензорезисторов. Все тензорезисторы фиксировали только нормальные напряжения, возникающие в элементе. Места наклейки тензорезисторов тщательным образом отбирались по результатам предыдущих экспериментов: по результатам расчётов напряжений в конструкции методом конечных элементов (МКЭ); по результатам наблюдений за поломками элементов конструкции в эксплуатации. В силу того, что элементы конструкции представляют собой прямоугольную трубу сечением  $40 \times 40 \times 4$ , тензорезисторы наклеивались на все четыре стороны трубы на расстоянии 40-50 мм от оси узла. Таким образом, на наиболее нагруженных элементах использовалось 8 тензорезисторов. К сожалению, ни в одном сечении не использовались розетки для измерения касательных напряжений.

Фиксация и статистическая обработка результатов экспериментов проводилась с использованием отечественного тензометрического комплекса СИИТ-2. Комплекс рассчитан на 1000 тензорезисторов, обладает стабильностью показаний и высокой точностью ( $\kappa_n=0,367$  МПа/дел). Особенность тензометрического комплекса заключается в том, что в процессе опроса одного тензорезистора можно фиксировать десять измерений и в дальнейшем на печать выводится среднее значение и среднеквадратическая величина показаний данного тензодатчика. Коэффициент вариации среднего значения величины напряжений находится в диапазоне ( $v=0.1 \dots 0.2$ ), большие значения для малых значений напряжения и наоборот.

Программа испытаний включала в себя испытание конструкции как на изгиб с номинальной нагрузкой, так и на кручение при вывешивании переднего левого и переднего правого колёс поочередно. Каждое из испытаний выполнено не менее трёх раз.

По результатам экспериментальных исследований построены эпюры нормальных напряжений по всем элементам несущей системы, и в частности, по лонжеронам конструкции машины. Величины напряжений, полученные экспериментально и расчётным путём, отличаются не более чем на 15%. Распределение расчётных нормальных и касательных напряжений по длине лонжерона представлено на рис. 1. На рис. 2 дан график изменения угла закручивания троллейбуса при вывешивании передних колёс, полученный в результате эксперимента.



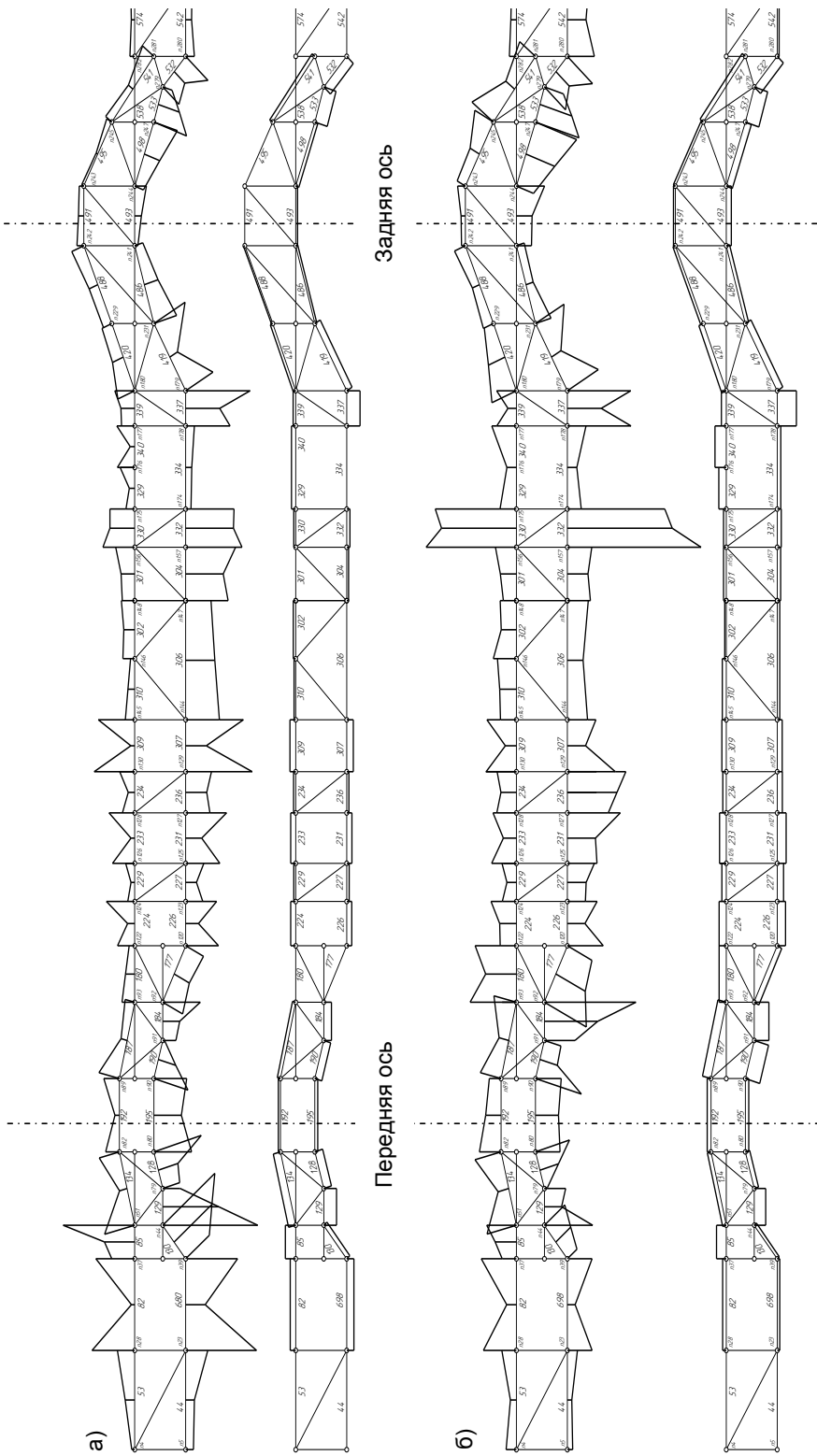


Рис. 1. Эпюры нормальных и касательных напряжений по длине левого лонжерона троллейбуса ЗиУ-682Г  
 а – при испытании на изгиб; б – при испытании на кручение (вывешено левое колесо)

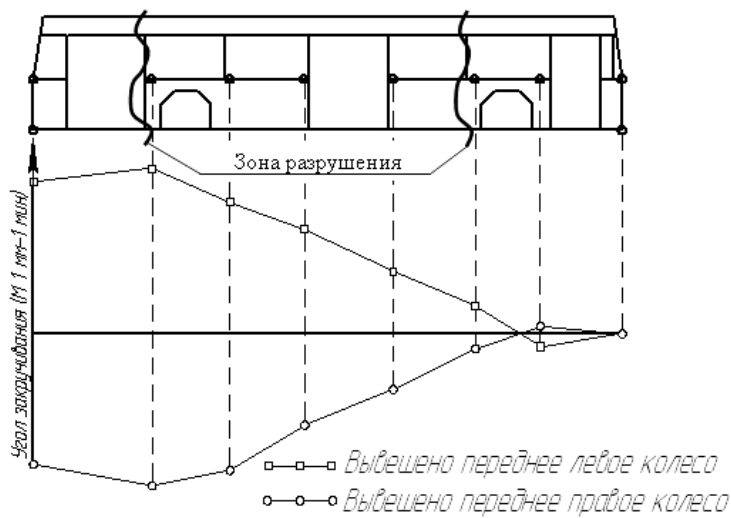


Рис. 2. Изменение угла закручивания кузова троллейбуса ЗиУ-682Г

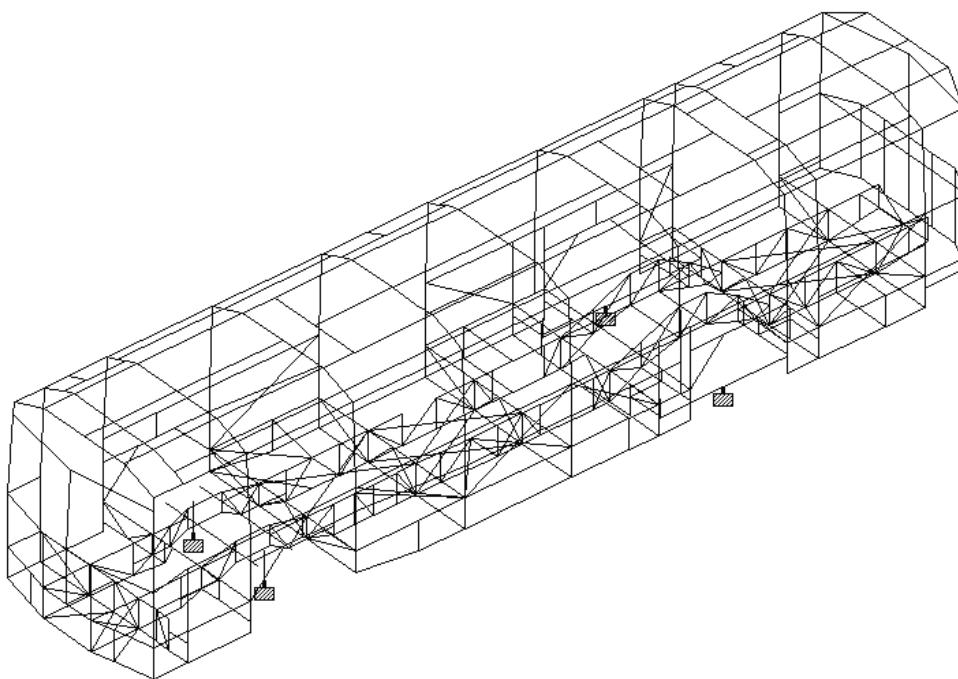


Рис. 3. Расчётная модель троллейбуса ЗиУ-682Г.  
Состоит из 450 узлов, 872 элементов с использованием 48 типов поперечных сечений и 155 пластин

Параллельно с экспериментальными исследованиями напряжённо-деформированного состояния элементов несущей системы троллейбуса выполнена оценка НДС элементов дан-

ной конструкции МКЭ. Расчётная модель конструкции (рис. 3) разработана с максимальным приближением к реальной конструкции. Схемы нагружения как модели при расчёте, так и машины в эксперименте идентичны.

Анализ величин нормальных (расчётных и экспериментальных) напряжений показал, что в сечениях, подверженных разрушениям в эксплуатации, напряжения не превышают величины  $\sigma=50$  МПа от действия статической нагрузки. В то же время отмечено, что в элементах конструкции, где имеют место значительные нормальные напряжения  $\sigma=70$  МПа и более, (район крыши средней двери, стойка средней двери, подоконный пояс), разрушений в эксплуатации не наблюдалось.

При исследовании расчётных величин касательных напряжений по длине лонжерона троллейбуса можно сделать вывод, что максимальные значения касательных напряжений отмечены в районах конструкции троллейбуса, подверженных разрушениям в эксплуатации. С этих позиций интересна картина изменения угла закручивания конструкции троллейбуса, полученная экспериментально (рис. 2). Резкое изменение интенсивности угла закручивания конструкции совпадает с зонами разрушения этой конструкции в эксплуатации. На этапе доводки конструкции троллейбуса выполнена попытка оценки долговечности элементов конструкции по записям переменных амплитудных напряжений в условиях, приближённых к эксплуатационным [5]. С этой целью условия эксплуатации троллейбуса были представлены 48 режимами, каждый из которых отличался действующей нагрузкой, скоростью и качеством дорожного покрытия. Весовые коэффициенты по нагрузкам и скоростям получены по исследованиям этих параметров в эксплуатации и представляют собой статистически значимые величины [6].

Запись напряжений производилась по программе для различных режимов нагружения. В общей сложности, для каждого из исследованных сечений конструкции, записывалось 48 километров (или 48 режимов) пробега. Схематизация действительного процесса нагружения при обработке записей переменных напряжений осуществлялась следующими методами: полных циклов, экстремумов, размахов. Полученные таким образом гистограммы амплитудных напряжений использовались для оценки долговечности элемента в данном сечении.

Как известно, основными величинами, влияющими на точность оценки ресурса элемента, являются параметры кривой усталости. Поэтому следующим этапом в цикле работ было определение параметров кривой усталости натурального образца на специальном стенде при моноамплитудном нагружении [7]. В результате обработки данных эксперимента по 20 сварным образцам (сварка в среде углекислого газа) были получены следующие параметры кривой усталости:  $\sigma_{-1д}=24,2$  МПа,  $N_{H0}=4,3 \times 10^6$ ,  $m=3,89$ . Следует отметить, что полученные величины параметров близки к величинам, опубликованным в печати.

Оценка долговечности выполнялась с использованием формулы (1) линейного суммирования накопленных напряжений

$$\Delta a_i = \frac{\sum \sigma_j^m \times n_j}{l \times \sigma_{-1к}^m \times N_0}, \quad L_{ijk} = \frac{1}{\Delta a_i} . \quad (1)$$

Числитель формулы представляет собой величины переменных напряжений и их частоты, записанные в процессе эксперимента для различных режимов нагружения на длине  $l$  км. В знаменателе находятся параметры кривой усталости типичного образца конструкции, полученные экспериментальным путём. Суммарный пробег троллейбуса до появления усталостных разрушений в элементах конструкции определяется условиями эксплуатации, которые учитываются в виде весовых коэффициентов в формуле:

$$L_{\Sigma} = \frac{l}{\sum a_i \times \sum b_i \times \sum c_k \times \left( \frac{1}{L_{ijk}} \right)}, \quad (2)$$

где  $a_i, b_i, c_k$  – весовые коэффициенты соответственно по нагрузке, скорости, типу дороги.

Таким образом, была выполнена оценка долговечности для семи характерных сечений конструкции троллейбуса. Наибольший интерес представляли два сечения лонжерона, по которым имелись достоверные данные по долговечности их эксплуатации.

Расчётная долговечность сечения лонжерона в районе заднего свеса по отношению к эксплуатационной составила: метод экстремумов – 0,12; метод полных циклов – 3,13; метод размахов – 21,54.

Как известно, наиболее достоверную расчётную оценку долговечности даёт метод полных циклов. Полученная расчётная оценка долговечности в три с лишним раза превышает эксплуатационный ресурс.

Выполненный комплекс работ позволяет отметить следующее:

- уровень нормальных напряжений, в статике равный 50 МПа, не гарантирует целостность конструкции в эксплуатации;
- наиболее объективно места будущих разрушений конструкции можно предсказать по величине касательных напряжений;
- оценка расчётной долговечности конструкции только по нормальным напряжениям приводит к её завышению.

Дальнейшие исследования по оценке долговечности конструкции, как на стадии проектирования, так и на стадии изготовления опытного образца, будут направлены на тщательное исследование касательных напряжений в реальной конструкции при статическом и динамическом её нагружении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриченко С.С. Параметры распределения эксплуатационного ресурса рам троллейбусов / С.С. Дмитриченко, В.Е. Боровских, А.Н. Солянов // Автомобильная промышленность. 1973. № 7. С. 17.
2. Дмитриченко С.С. Опыт прогноза ресурсов по результатам незавершённых испытаний / С.С. Дмитриченко, В.Е. Боровских, С.К. Агзамов // Вестник машиностроения. 1974. № 3. С. 54-57.
3. Дмитриченко С.С. Расчёт средней долговечности рам троллейбусов по результатам тензометрирования / С.С. Дмитриченко, В.Е. Боровских // Вестник машиностроения. 1975. № 9. С. 7-9.
4. Статические испытания троллейбуса ЗиУ682Г. Научно-исследовательский отчёт. № ГР 01820071444, Инв. № 01850010285. Научный руководитель В.Е. Боровских. Саратов, 1991. 148 с.
5. Динамические испытания троллейбуса ЗиУ-682Б и расчёт долговечности элементов конструкции. Отчёт о НИР / Саратов. политехн. ин-т. Руководитель В.Е. Боровских. № ГР 01820071444. Инв. № 0285005983. Саратов, 1985. 163 с.
6. Боровских В.Е. Оценка долговечности и совершенствование несущих систем мобильных машин на стадии проектирования: автореф. дис. ... доктора техн. наук / В.Е. Боровских. Саратов, 1994. 40 с.
7. Боровских В.Е. Исследование прочности и расчёт долговечности рам троллейбусов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.Е. Боровских. Саратов, 1974. 35 с.

**Боровских Валентин Ефимович** –

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

**Боровских Ульяна Валентиновна** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Теория механизмов и детали машин» Саратовского государственного технического университета

**Буцынский Владимир Александрович** –

ассистент кафедры «Теория механизмов и детали машин» Саратовского государственного технического университета

**Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов, И.Н. Янкин, М.Б. Бровкова**

**СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТАНКА  
КАК ОСНОВА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ**

*Представлены результаты применения методов моделирования к изучению динамических процессов в металлорежущих станках для решения задач стабилизации и управления их состоянием с целью повышения точности механической обработки деталей.*

**B.M. Brzhozovsky, V.V. Martynov, I.N. Yankin, M.B. Brovkova**

**MACHINE TOOL DYNAMIC CONDITION STABILIZATION  
AS A BASIS OF INCREASE  
ACCURACY PROBLEMS DECISION OF DETAILS MACHINING**

*Results of application of the dynamic processes simulation techniques in the metal-cutting machine tools for it stabilization, status control and increase of the machine working accuracy are presented in this article.*

Современное машиностроение предъявляет высокие требования к точности механической обработки деталей. Существующее оборудование не всегда способно удовлетворить этим требованиям, приобретение же нового из-за больших материальных затрат для большинства российских предприятий может потребовать большого количества времени. В связи с этим актуальным становится применение различных систем управления (в том числе – адаптивного) процессами в существующем оборудовании и на этой основе раскрытие и рациональное использование его потенциальных возможностей. Принцип действия систем основан на непрерывной регистрации и анализе информации о закономерностях протекания каких-либо физических процессов, прямо или косвенно связанных с состоянием объекта, и выработке по результатам анализа различных управляющих решений, направленных на стабилизацию или управление состоянием в соответствии с определенным законом. В настоящее время в этом направлении проводятся исследования в различных научных коллективах страны, в том числе и в Саратовском государственном техническом университете; при этом информационной базой создания систем являются результаты изучения динамики станка и процесса резания.

Одним из наиболее продуктивных методов изучения динамики является моделирование на ЭВМ, позволяющее с максимальным уровнем достоверности создавать сколь угодно сложные модели [1, 2], в том числе и имитирующие работу станка в реальном времени. Это делает возможным расширение направлений изучения процессов, протекающих в станке при резании, в частности, позволяет изучать их в нелинейной постановке и, таким образом, подойти к решению задачи стабилизации состояния станка на новом качественном уровне.

Имитационная модель динамической системы токарного станка, разработанная в среде моделирования Simulink, интегрированного в состав математического пакета Matlab, поз-

воляет представить станок как систему взаимосвязанных функциональных модулей в виде упругой подсистемы, блоков задания частоты вращения (скорости резания) и подачи, процесса резания, резца и детали, имеющих блочную внутреннюю структуру (рис. 1), и отличается от разработанных ранее моделей [3, 4] тем, что:

- кроме нелинейностей «зазор» учитывает нелинейности типа «сухое трение» (в блоке «процесс резания»);
- отображает одновременное прохождение вибросигнала как в прямом (от детали к резцу), так и в обратном (от резца к детали) направлениях;
- обладает усовершенствованными (в направлении реализации в процессе моделирования динамического изменения параметров) блоками «зазор»;
- учитывает неравномерность частоты вращения, подачи инструмента и неоднородность материала заготовки;
- имеет динамическую связь между параметрами модулей.

Указанные возможности позволяют с высокой степенью адекватности выполнить моделирование динамических процессов, протекающих в станке при резании материалов с учетом фактических значений параметров узлов станка, скорости резания и подачи. С помощью модели представляется возможным осуществить стабилизацию состояния станка в реальном времени. Это достигается на основе воздействия на те нелинейности, влияние параметров которых на энергетические характеристики генерируемых динамической системой станка вибросигналов может быть изменено программно. Для этого необходимо найти такие нелинейности, определить способы программного внесения изменений в значения их параметров, обосновать показатель, который позволит оценивать эффективность сформированного управляющего воздействия количественно.

В последующем изложении представлены результаты исследований, выполненных при решении третьей задачи, поскольку она представляет наибольший интерес с практических позиций. Исследования показали, что наилучшим образом на влияние нелинейностей реагирует фазовая область частотных спектров вибросигналов, поскольку она практически не подвержена влиянию искажений, характерных для амплитудных областей спектров. При исследовании фазовых спектров, прошедших через нелинейность вибросигналов, установлено, что функция фазы в пределах анализируемой частотной полосы терпит множественные разрывы, поэтому сама по себе мало пригодна для анализа. Однако если программно находить и устранять разрывы, то можно сформировать псевдоднепрерывную кумулятивную кривую, содержащую информацию о поведении фазового спектра в точках между разрывами и характеризующую накопленный фазовый угол (НФУ).

Анализ таких кривых, снятых при прохождении вибросигнала через модель в различных ее точках (рис. 2), показал, что значение НФУ зависит как от колебаний линейных элементов (на собственных и вынужденных частотах), так и от параметров нелинейностей. Механизм зависимости НФУ от параметров линейных элементов однозначен, поскольку фаза сигнала в них меняется один раз, и значение накопленного угла полностью определяется величиной этого изменения. При прохождении сигнала через нелинейность механизм зависимости определяется не только ее параметрами, но и видом самого сигнала, поскольку все сигналы в реальных динамических системах являются зашумленными. Поэтому значение НФУ зависит от степени зашумленности, т.е. числа нелинейностей, которые внесли свой вклад в формирование общего количества и величин разрывов функции фазы. А количество этих нелинейностей, в свою очередь, зависит от количества и амплитуд колебаний линейных элементов. Из этого следует, что чем меньше будут колебаться линейные элементы или чем больше будет задействовано нелинейностей в противном случае, тем более эффективно будет рассеиваться энергия вибросигнала при его прохождении через динамическую систему станка. Тем, следовательно, меньше будет значение НФУ.

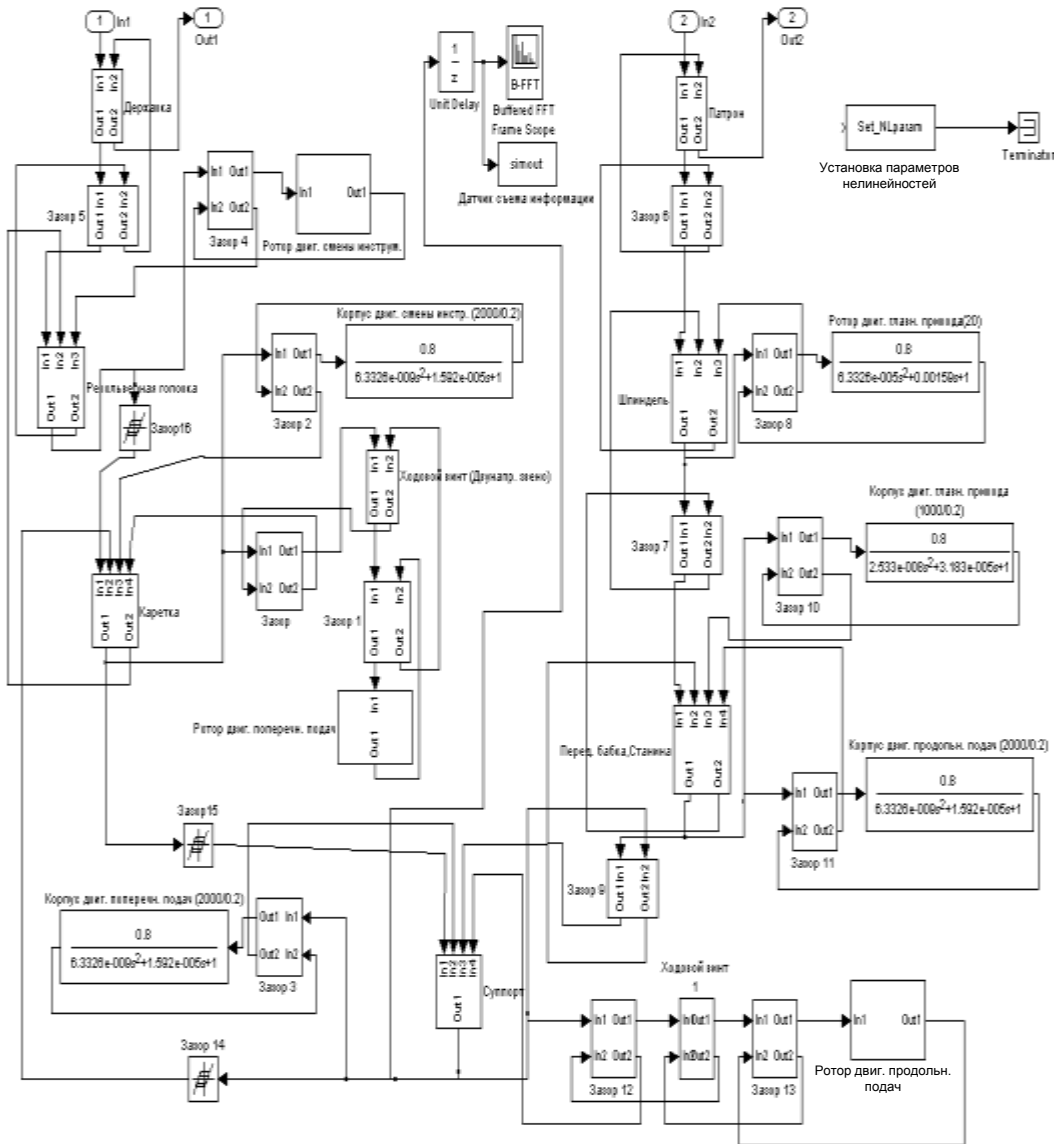


Рис. 1. Пример структуры блоков модели: блок «упругая подсистема». Блоки «Unit Delay», «Buffered-FFT» и «Frame scope» используются, соответственно, для задержки на один квант времени моделирования, получения и просмотра частотной и временной информации

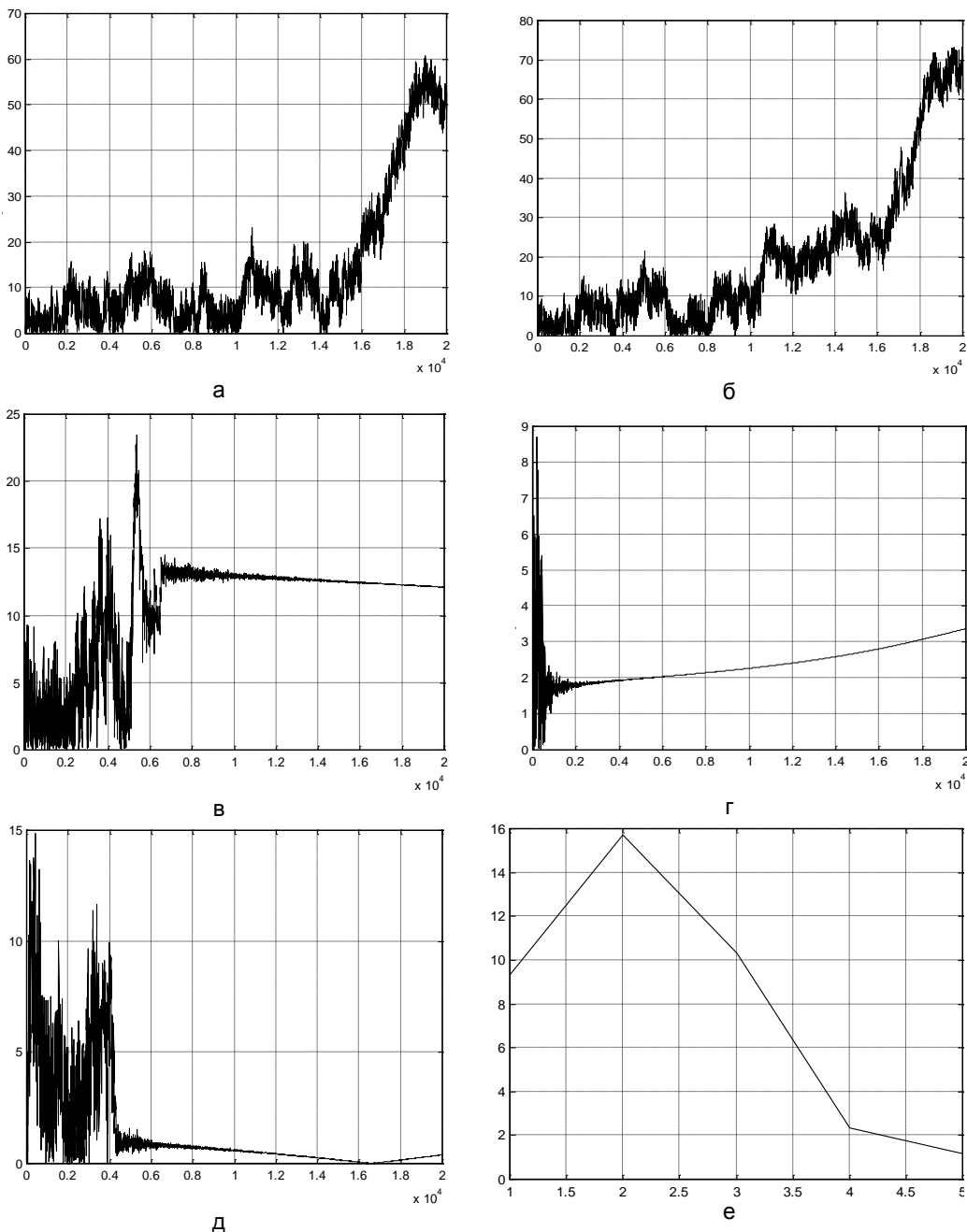


Рис. 2. Реакция НФУ на прохождение вибросигнала через модель: а – до объекта «зазор» между блоками «резец» и «упругая подсистема»; б – после объекта «зазор» между блоками «резец» и «упругая подсистема»; в – после объекта «револьверная головка» в блоке «упругая подсистема»; г – после объекта «суппорт» в блоке «упругая подсистема»; д – после объекта «шпиндель» в блоке «упругая подсистема»; е – средние значения НФУ в перечисленных точках



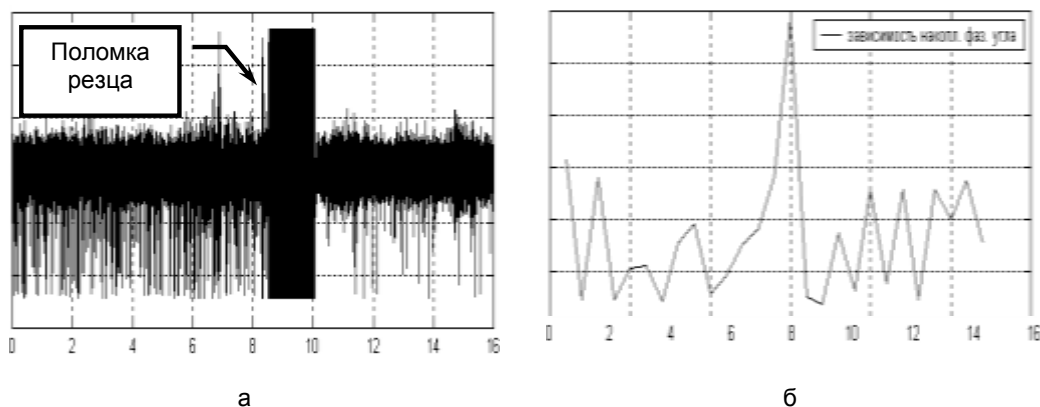


Рис. 3. Пример практического использования НФУ:

а – реализация вибросигнала при работе и поломке отрезного резца из сплава Т15К6;  
 б – результаты мониторинга поломки

В качестве подтверждения сделанных выводов на рис. 2, е представлен полученный усреднением оценок НФУ результат прохождения сигнала через модель для условий, соответствующих нормальному состоянию станка и процесса резания, а на рис. 3 показан пример практического использования НФУ для мониторинга изменения динамического состояния станка в условиях поломки режущего инструмента. Хорошо видно, что в первом случае значение НФУ по мере прохождения вибросигнала через упругую подсистему уменьшается, а во втором оно скачкообразно увеличивается, при этом (что очень важно) реакция происходит раньше, чем наступает собственно момент поломки.

Таким образом, предложенный показатель может быть принят в качестве оперативной количественной характеристики эффективности программного управления состоянием станка, а разработанная модель – использоваться для поиска решений других задач, результаты которых необходимы для поддержания оптимального по критерию точности обработки взаимодействия элементов динамической системы. При этом потребности в данных о причинах изменения состояния практически не возникает, т.к. основным принципом управления в данном случае является управление по отклонению.

Другой метод стабилизации динамического состояния станков заключается в целенаправленной коррекции их динамических свойств на основе учета динамического взаимодействия формообразующих подсистем станка при резании.

С этой целью выявляются особенности процесса резания как фактора возбуждения механической системы станка, особенности реакции динамической системы на процесс резания и основные формы колебаний формообразующих подсистем, в виде которых может проявляться неустойчивость динамической системы станка. Зная влияние сопровождающих обработку форм колебаний на стабильность процесса резания, можно выполнить целенаправленную коррекцию динамических свойств станка.

Рассмотрим применение данного метода в задаче обеспечения качества обработки при внутреннем шлифовании.

Как известно, потеря качества обработки отверстий во многом связана с проявлением неустойчивости динамической системы станка в виде колебаний на частоте изгиба оправки с кругом. Возбуждение указанной формы колебаний при обработке приводит к росту уровня микронеровностей шлифованной поверхности. Поэтому для обеспечения качества поверхностей необходимо минимизировать склонность динамической системы станка к колебаниям на частоте изгиба оправки с кругом.

Особенностью обработки материалов шлифованием является существенная роль процесса трения в зоне резания. На этой основе построена динамическая модель процесса шлифования (рис. 4). Относительное движение поверхностей инструмента и изделия в направлении скорости резания вызывает их взаимные смещения в нормальном направлении. В динамической системе станка можно выделить две подсистемы – подсистему инструмента и подсистему изделия. Каждая из подсистем представлена двумя ортогональными парциальными системами, которые отражают некоторые обобщенные параметры динамической системы:  $m_i$  – приведенные к зоне резания массы;  $p_{3i}$  – эквивалентные жесткости групп вдоль соответствующих осей координат с учетом жесткости в области контакта;  $c_{3i}$  – эквивалентные коэффициенты диссипативных сил;  $Q_i$  – обобщенные силы;  $X_i$  – обобщенные оси координат.

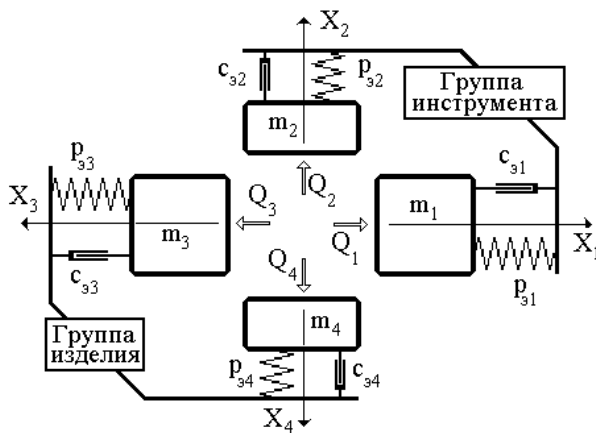


Рис. 4. Модель динамической системы шлифования: индексы 1, 3 – нормальные парциальные системы; индексы 2, 4 – тангенциальные парциальные системы

Связь между подсистемами осуществляется через процесс резания. Для математического описания этой связи обратимся к зависимости, установленной для условий трения скольжения [5]. Она увязывает изменение скорости относительного скольжения двух тел, их сближение и изменение силы сопротивления движению:

$$\frac{dT}{dV} = \frac{\partial T}{\partial H} \frac{dH}{dV} + \frac{\partial T}{\partial V}, \quad (1)$$

где обозначено:  $dT$  – приращение силы сопротивления движению двух тел;  $dV$  – приращение относительной скорости скольжения;  $dH$  – приращение нормального сближения поверхностей.

С учетом зависимости (1) определим возбуждающие силы, действующие на площадке трения, в следующем виде:  $Q_n = c_s(\dot{x}_2 + \dot{x}_4)$  – подъемная (нормальная) сила и  $Q_t = p_s(x_1 + x_3)$  – кулонова (тангенциальная) сила, где  $c_s$  и  $p_s$  – эквивалентные коэффициенты нормальной и тангенциальной сил. Подъемная сила отражает кинетическую характеристику трения и направлена по нормали к поверхности скольжения. Кулонова сила отражает статическую характеристику трения, зависит от сближения инструмента с изделием и направлена вдоль плоскости скольжения.

Нелинейные свойства динамической системы проявляются в том, что нормальная и тангенциальная силы нелинейно зависят от соответствующих колебательных смещений. Тогда уравнения движения подсистем можно представить в виде:

$$\begin{aligned}
m_1 \ddot{x}_1 + c_{\rho 1} \dot{x}_1 + p_{\rho 1} x_1 + c(1 - \mu_1 x_1^2)(\dot{x}_2 + \dot{x}_4) &= 0, \\
m_2 \ddot{x}_2 + c_{\rho 2} \dot{x}_2 + p_{\rho 2} x_2 + p(1 - \mu_2 x_2^2)(x_1 + x_3) &= 0, \\
m_3 \ddot{x}_3 + c_{\rho 3} \dot{x}_3 + p_{\rho 3} x_3 + c(1 - \mu_3 x_3^2)(\dot{x}_2 + \dot{x}_4) &= 0, \\
m_4 \ddot{x}_4 + c_{\rho 4} \dot{x}_4 + p_{\rho 4} x_4 + p(1 - \mu_4 x_4^2)(x_1 + x_3) &= 0,
\end{aligned} \tag{2}$$

где  $m_i \ddot{x}_i$  – инерционные силы;  $p_i x_i$  – упругие силы;  $c_i \dot{x}_i$  – диссипативные силы;  $c(1 - \mu_i x_i^2)(\dot{x}_2 + \dot{x}_4)$  – подъемные силы;  $p(1 - \mu_i x_i^2)(x_1 + x_3)$  – тангенциальные силы;  $\mu_i$  – коэффициенты, определяющие нелинейный характер возбуждающих сил.

Приведем систему (2) к стандартному виду:

$$\begin{aligned}
\ddot{x}_1 + \omega_{01}^2 &= (\omega_j^2 - \omega_{01}^2)x_1 - \delta_1 \dot{x}_1 - \gamma_1(1 - \mu_1 x_1^2)(\dot{x}_2 + \dot{x}_4) = 0, \\
\ddot{x}_2 + \omega_{02}^2 &= (\omega_j^2 - \omega_{02}^2)x_2 - \delta_2 \dot{x}_2 - \gamma_2(1 - \mu_2 x_2^2)(x_1 + x_3) = 0, \\
\ddot{x}_3 + \omega_{03}^2 &= (\omega_j^2 - \omega_{03}^2)x_3 - \delta_3 \dot{x}_3 - \gamma_3(1 - \mu_3 x_3^2)(\dot{x}_2 + \dot{x}_4) = 0, \\
\ddot{x}_4 + \omega_{04}^2 &= (\omega_j^2 - \omega_{04}^2)x_4 - \delta_4 \dot{x}_4 - \gamma_4(1 - \mu_4 x_4^2)(x_1 + x_3) = 0,
\end{aligned} \tag{3}$$

где  $\omega_{0i}$  – парциальные частоты;  $\delta_i$  – коэффициенты диссипации;  $\gamma_i$  – коэффициенты связи парциальных систем через зону контакта.

Чтобы найти решение системы (3), необходимо определиться с условиями скольжения. Принципиальное значение на вид колебательного движения оказывает скорость относительного скольжения инструмента и изделия. В области высоких относительных скоростей, характерных для шлифования, форма движения приближается к гармонической. Поэтому решение допустимо искать в виде суперпозиции гармонических колебаний, сдвинутых относительно друг друга по фазе:

$$x_i = \sum (A_{ij} \cos(\omega_j t - \varphi_{ij}), \tag{4}$$

где  $A_{ij}$  – амплитуды колебаний в  $i$ -й парциальной системе на частоте  $\omega_j$ ;  $\varphi_{ij}$  – фазы колебаний ( $i = 1 \dots 4$ ;  $j = 1 \dots 4$ ).

Для решения системы (3) использован метод быстрых и медленных переменных Ван-дер-Поля [6]. Согласно этому методу, система (3) описывает некоторый колебательный процесс, в котором амплитуды и фазы в (4) являются функциями времени. Тем самым в решение вводится неопределенность, что требует введения дополнительных условий. Этими условиями являются  $i$  соотношений Ван-дер-Поля для каждой частоты:

$$\dot{A}_{ij} \cos(\omega_j t - \varphi_{ij}) + \dot{\varphi}_{ij} A_{ij} \sin(\omega_j t - \varphi_{ij}) = 0. \tag{5}$$

Применение решения в виде (4) к системе (3) с учетом соотношений (5) дает возможность получить систему укороченных уравнений Ван-дер-Поля, которая описывает бифуркации в динамической системе и позволяет осуществить анализ устойчивости движений на частотах собственных форм колебаний и выявить доминирующую подсистему.

Подсистемы инструмента и изделия образуют вместе с зоной резания единую динамическую систему и связаны общими свойствами. В частности, демпфирующие свойства связанных подсистем возрастают и несколько выравниваются за счет высокой демпфирующей способности процесса трения. Удельное силовое возбуждение со стороны зоны резания выше в подсистеме, обладающей меньшими инерционными свойствами. Поэтому, как правило, подсистема инструмента обладает повышенной склонностью к возбуждению колебаний и ее можно отнести к доминирующей. Тогда подсистему изделия, с которой контакт осуществляется через зону резания, назовем сопряженной.

Вопрос о статусе подсистем решается из анализа устойчивости движений. Гипотетически устойчивые режимы колебаний возможны на каждой из четырех частот  $\omega_1 \dots \omega_4$ . Решение в виде укороченных уравнений Ван-дер-Поля описывает переходной процесс в динамической системе.

ческой системе, который может возникнуть при произвольном внешнем возмущении. Существует два возможных направления, по которым может развиваться переходной процесс. Либо система, при определенных условиях, выходит на некоторый автоколебательный режим, либо она возвращается в исходное состояние с нулевыми амплитудами.

Условия устойчивости колебательного движения на частоте изгиба оправки с кругом имеют вид:

$$(\gamma_1 \gamma_2)_j^{(1)} \geq \left| \frac{\delta_1(\omega_j^2 - \omega_{02}^2)}{(1 + \sigma_1)(1 + \sigma_4)} + \frac{\delta_2(\omega_j^2 - \omega_{01}^2)}{(1 + \sigma_2)(1 + \sigma_3)} \right|, \quad (6)$$

где коэффициенты  $\sigma_1 \dots \sigma_4$  определяют взаимовлияние подсистем и имеют вид:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= k_{42} \frac{\cos(\varphi_1 - \varphi_4)}{\cos(\varphi_1 - \varphi_2)}; \quad \sigma_2 = k_{42} \frac{\sin(\varphi_1 - \varphi_4)}{\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}; \quad k_{42} = m_r \sqrt{\frac{(\omega_j^2 - \omega_{02}^2)^2 + \omega_2^2 \delta_2^2}{(\omega_j - \omega_{04}^2)^2 + \omega_4^2 \delta_4^2}}; \\ \sigma_3 &= k_{31} \frac{\sin(\varphi_3 - \varphi_2)}{\sin(\varphi_1 - \varphi_2)}; \quad \sigma_4 = k_{31} \frac{\cos(\varphi_3 - \varphi_2)}{\cos(\varphi_1 - \varphi_2)}; \quad k_{31} = m_n \sqrt{\frac{(\omega_j^2 - \omega_{01}^2)^2 + \omega_1^2 \delta_1^2}{(\omega_j - \omega_{03}^2)^2 + \omega_3^2 \delta_3^2}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Собственные частоты в подсистеме инструмента определяются из частотного уравнения:

$$(\omega_j^2 - \omega_{01}^2)(\omega_j^2 - \omega_{02}^2)(1 + \sigma_1)(1 + \sigma_3) - \delta_1 \delta_2 \omega_j^2 (1 + \sigma_2)(1 + \sigma_4) = 0, \quad (8)$$

где фазы  $\varphi_i$  на частоте  $\omega_j$  должны отвечать условиям:

$$\begin{aligned} (\omega_j^2 - \omega_{01}^2) [\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + k_{42} \cos(\varphi_1 - \varphi_4)] - \sigma_1 \omega_j [\sin(\varphi_1 - \varphi_2) + k_{42} \sin(\varphi_1 - \varphi_4)] &= 0, \\ (\omega_j^2 - \omega_{02}^2) [\sin(\varphi_1 - \varphi_2) + k_{31} \sin(\varphi_3 - \varphi_2)] - \sigma_2 \omega_j [\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + k_{31} \cos(\varphi_3 - \varphi_2)] &= 0, \\ (\omega_j^2 - \omega_{03}^2) [\cos(\varphi_3 - \varphi_2) + k_{42} \cos(\varphi_3 - \varphi_4)] - \sigma_3 \omega_j [\sin(\varphi_3 - \varphi_2) + k_{42} \sin(\varphi_3 - \varphi_4)] &= 0, \\ (\omega_j^2 - \omega_{04}^2) [\sin(\varphi_1 - \varphi_4) + k_{31} \sin(\varphi_3 - \varphi_4)] - \sigma_4 \omega_j [\cos(\varphi_1 - \varphi_4) + k_{31} \cos(\varphi_3 - \varphi_4)] &= 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Остановимся подробнее на выражении (6). Здесь в числителях правой части неравенства сгруппированы показатели инерционных, упругих и диссипативных свойств подсистемы инструмента. Коэффициенты  $\sigma_1 \dots \sigma_4$  отражают связанности между подсистемами инструмента и изделия. Таким образом, в правой части указанного неравенства сосредоточены параметры подсистем инструмента и изделия. Их сочетание характеризует колебательные свойства формообразующих механических систем станка.

Левая часть неравенства (6) имеет вид  $(\gamma_1 \gamma_2)_j^{(1)} = c p / (m_1 m_2)$ . Здесь произведение коэффициентов активных сил  $c p$  отражает условия контактирования инструмента с изделием в зоне резания, то есть является «мерой активности» процесса резания.

Таким образом, левая часть данного неравенства отражает действительный уровень возбуждения в подсистеме инструмента, а его правая часть отражает минимально-необходимый уровень, при котором в ней может возникнуть устойчивый автоколебательный режим. Обозначим этот уровень, соответствующий границе устойчивости движений на рассматриваемой частоте, через  $(\gamma_1 \gamma_2)_{sp}^{(1)}$ . Следует заметить, что это состояние равновесия может быть описано квазилинейной системой, в которую обращается система (2) при  $\mu_i A_{ij} = 0$ .

При уровне возбуждения, превышающем значение  $(\gamma_1 \gamma_2)_{sp}^{(1)}$ , вступают в действие ограничивающие факторы в виде нелинейных зависимостей возбуждающих сил от амплитуд колебательных смещений в виде  $1 - \mu_i A_{ij}^2$  и колебательная система самобалансируется около некоторого устойчивого состояния. Амплитудный состав колебаний определяется, исходя из баланса инерционных, упругих, диссипативных и возбуждающих сил.

Аналогичный набор аналитических выражений для оценки устойчивости можно получить и для подсистемы изделия. Тогда вопрос о доминирующей подсистеме решается достаточно просто на основе сравнения значений граничных уровней возбуждения на всех частотах.

При исследовании устойчивости практический интерес представляют связи между подсистемами, которые реализуются через зону резания. На рис. 5 приведен пример расчета, показывающий влияние связанности между подсистемами инструмента и изделия на границу устойчивости движений. В качестве варьируемого параметра используется коэффициент отношения парциальных частот  $\omega_{04}/\omega_{01}$ . Кривая на рис. 5 представляет собой геометрическое место точек, соответствующих значениям границы устойчивости движений на частоте изгиба оправки с кругом. Расчет выполнен для динамической системы со следующими показателями: парциальные частоты  $\rho_1=1$ ;  $\rho_2=2$ ;  $\rho_3=0,1$ ;  $\rho_4=0,2\dots 2$ ; коэффициенты динамичности  $\beta_i=0,01$ . Параметры указаны в универсальной безразмерной форме путем приведения их к параметрам первой парциальной системы.

Область значений показателя устойчивости  $(\gamma_1\gamma_2)_{гр}^{(1)}$ , расположенная выше кривой, соответствует устойчивым движениям в форме изгиба оправки с кругом. Область ниже кривой отражает неустойчивые состояния. В этой области, при наличии случайных возмущений, движения неустойчивы и могут носить только затухающий характер.

Вид кривой графика показывает, что изменение связанности двух подсистем оказывает заметное влияние на положение границы устойчивости. В частности, при  $\omega_{04}/\omega_{01} \approx 1$  граница устойчивости снижается до минимальной величины. В этом состоянии система обладает наибольшей склонностью к возбуждению колебаний. В районе  $\omega_{04}/\omega_{01} \approx 0,8$  граница устойчивых движений существенно сужается. В этой области система обладает наименьшей склонностью к возбуждению колебаний. Результаты моделирования легли в основу разработки концепции управления динамическим состоянием станка на основе целенаправленной коррекции динамических свойств связанных процессом резания подсистем инструмента и изделия.



Рис. 5. Влияние связанности между подсистемами инструмента

Рассмотренные методы изучения динамики станка и процесса резания позволяют по-новому решать традиционные задачи ЧПУ, в частности, технологическую, и на этой основе более эффективно обеспечивать высокие показатели точности и качества обрабатываемых деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базров Б.М. Устранение автоколебаний при токарной обработке с помощью самоприспособляющихся систем управления / Б.М. Базров, В.И. Горюшкин // Станки и инструмент. 1977. № 4. С. 3-6.
2. Городецкий Ю.И. Создание математических моделей сложных автоколебательных систем в станкостроении / Ю.И. Городецкий // Автоматизация проектирования: сб. статей; под ред. В.А. Трапезникова. М.: Машиностроение, 1986. Вып. 1. С. 203-220.
3. Бржозовский Б.М. Исследование преобразующих свойств динамических систем металлорежущих станков методом математического моделирования / Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов, А.Н. Карпов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 1998. № 3. С. 46-50.
4. Бржозовский Б.М. Модель упругой системы станка как основа для разработки динамического мониторинга точности обработки деталей шлифованием / Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов, А.Н. Ворыпаев // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. Волжский, 2001. С. 273-277.
5. Толстой Д.Н. К вопросу о роли нормальных перемещений при внешнем трении / Д.Н. Толстой, Р.Л. Каплан // Новое в теории трения: сб. статей. М.: Машиностроение, 1966. С. 76-83.
6. Моисеев Н.Н. Асимптотические методы нелинейной механики / Н.Н. Моисеев. М.: Наука, 1981. 400 с.

**Бржозовский Борис Максевич –**

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

**Мартынов Владимир Васильевич –**

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

**Янкин Игорь Николаевич –**

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

**Бровкова Марина Борисовна –**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение  
вычислительной техники и вычислительных систем»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.75

**А.В. Королев, С.С. Крайнов**

**ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ  
ПРОЦЕССА ЭКСЦЕНТРИКОВОГО СУПЕРФИНИШИРОВАНИЯ**

*Выполнено исследование механизма удаления припуска с поверхности  
заготовки при эксцентриковом суперфинишировании. Результаты исследо-*

*вания позволяют анализировать технологические факторы, способствующие обеспечению высокой производительности процесса и достижению заданной выпуклости профиля обработанной поверхности.*

**A.V. Koroliov, S.S. Krajnov**

## **PROBABILITY-THEORETICAL MODEL OF ECCENTRIC SUPER FINISHING PROCESS**

*The mechanism of removal of an allowance from a surface of preparation at eccentric super finishing is researched here. Results of the research allow to analyze the technological factors promoting maintenance of high efficiency of process and achievement of given camber of a structure of a processed surface.*

В области развития процесса суперфиниширования рабочих поверхностей подшипников качения, в создании эффективной технологии формообразующей многобрусковой обработки саратовская научная школа технологов-машиностроителей достигла больших результатов. Однако некоторые вопросы практической реализации полученных результатов остаются нерешенными. В частности, существующие технологии процесса суперфиниширования все еще сложны в применении, а оборудование для многобрускового суперфиниширования требует дальнейшего совершенствования.

Отмеченные недостатки устраняются использованием способа эксцентрикового суперфиниширования. Сущность способа заключается в том, что обработка вращающейся детали осуществляется двумя абразивными брусками, закрепленными в инструментальной головке, совершающей круговое движение вокруг центра, расположенного в плоскости симметрии обрабатываемой поверхности. Движение инструментальной головки сообщают от эксцентрикового механизма, и поэтому способ получил название эксцентрикового суперфиниширования.

Основное преимущество способа эксцентрикового суперфиниширования заключается в том, что бруски в процессе обработки самоустанавливаются относительно обрабатываемой поверхности, в результате чего обеспечивается более высокая точность обработки, для осуществления процесса требуется менее квалифицированный наладчик, а конструкция технологического оборудования существенно упрощается.

С целью выявления основных закономерностей эксцентрикового суперфиниширования выполнены исследования механизма удаления припуска и формирования профиля обрабатываемой поверхности. Схема процесса эксцентрикового суперфиниширования приведена на рисунке. Абразивные бруски 1 прижимаются с силой  $P$  к обрабатываемой поверхности заготовки 2 и перемещаются вдоль ее оси под действием вращающегося эксцентрика 3 с эксцентриситетом  $e$ . Державка брусков имеет одну степень свободы, а именно возможность свободного поворота вокруг оси эксцентрика  $O_3$ . За счет этого происходит самоустановка брусков 1 относительно оси заготовки 2. Но так как бруски установлены жестко на их державке, то при повороте эксцентрика на угол  $\alpha$  они поворачиваются относительно горизонтальной оси на угол  $\beta$ . А в связи с тем, что бруски в процессе обработки затачиваются по радиусу  $R$ , то при перемещении брусков вдоль оси заготовки точка их контакта с заготовкой перемещается в противоположном направлении. При угле поворота эксцентрика, равном  $0,5\pi$  и  $1,5\pi$ , угол разворота брусков относительно горизонтальной оси максимален и равен  $\beta_m$ , а точка контакта брусков с заготовкой выходит на правый или на левый край профиля.

Введем подвижную  $x'O'y'$  и неподвижную  $xOy$  декартовые системы координат. Центр  $O'$  подвижной системы расположим в центре профиля бруска. Центр  $O$  подвижной системы расположим на обрабатываемой поверхности в плоскости симметрии заготовки. За начало отсчета положения бруска примем его крайнее правое положение.

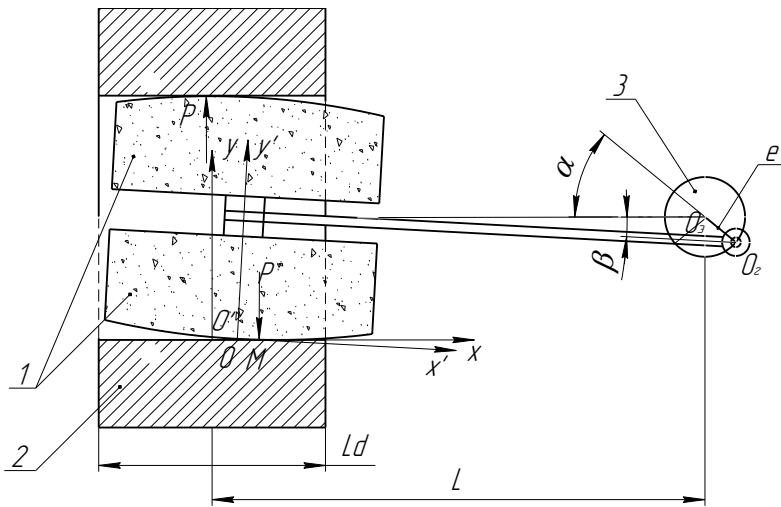


Схема эксцентрикового суперфиниширования

Примем следующее уравнение профиля бруска в подвижной системе координат:

$$y' = \begin{cases} \frac{x'^2}{2 \cdot R} & \text{при } R \cdot \sin \beta m \leq x' \leq R \cdot \sin \beta m; \\ 0 & \text{при } R \cdot \sin \beta m > x' > R \cdot \sin \beta m, \end{cases}$$

где  $R$  – радиус при вершине бруска, мм.

Используя соответствующие формулы перехода от подвижной системы координат к неподвижной, после ряда преобразований определим уравнение профиля бруска в неподвижной системе координат:

$$y = \begin{cases} \frac{1}{2 \cdot Rb} \cdot \left( \frac{Ld}{2} \cdot t - xk \right)^2 & \text{при } y \geq 0, \\ 0 & \text{при } y < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $Ld$  – длина профиля заготовки, мм;  $t$  – координата точек профиля заготовки в отношении к длине профиля:

$$t = \frac{2 \cdot x}{Ld},$$

$xk$  – координата точки контакта профилей бруска и заготовки, мм, равная:

$$xk = Lc - \sqrt{Lc^2 - e^2 \sin^2 \alpha} + e \cdot \cos \alpha + (Rb - 0,5 \cdot d) \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (2)$$

$Lc$  – длина державки брусков, мм.

Из геометрических построений также найдем:

$$Rb = \frac{\sqrt{Lc^2 - e^2}}{e} \cdot (0,5Ld - Lc + \sqrt{Lc^2 - e^2}) + 0,5 \cdot d, \quad (3)$$

$$\beta = \arcsin \left( \frac{e}{Lc} \cdot \sin \alpha \right), \quad (4)$$

где  $d$  – диаметр обрабатываемой поверхности, мм.

Элементарный съем металла ( $\text{мм}^3$ ) абразивными зернами, расположенными на элементарной площадке рабочей поверхности абразивного инструмента, за время  $dt$  ( $c$ ) равен:



$$dV = C_b \cdot S_o \cdot v \cdot dx \cdot dt, \quad (5)$$

где  $C_b$  – толщина бруска, мм;  $S_o$  – суммарная площадь срезов абразивными зернами ( $\text{мм}^2/\text{мм}^2$ ), находящимися на единице рабочей поверхности абразивного инструмента:

$$S_o = z_o \cdot \int_{hp}^{\infty} S_i(a) \cdot f(h) \cdot dh, \quad (6)$$

$S_i(a)$  – площадь единичного среза глубиной  $a$ ,  $\text{мм}^2$ ;  $z_o$  – число зерен, находящихся на единице рабочей поверхности абразивного инструмента, шт./ $\text{мм}^2$ , равное

$$z_o = \frac{K_c}{d_o^2},$$

$d_o$  – средний диаметр абразивных зерен, мм;  $f(h)$  – плотность вероятностей распределения абразивных зерен над связкой инструмента,  $1/\text{мм}$ ;  $hp$  – расстояние уровня связки абразивного инструмента от линии выступов обрабатываемой поверхности, мм;  $v$  – относительная скорость перемещения зерен по обрабатываемой поверхности ( $\text{мм}/\text{с}$ ), равная:

$$v = \sqrt{v_z^2 + v_b^2}, \quad (7)$$

$v_z$  и  $v_b$  – соответственно окружная скорость заготовки и скорость перемещения бруска,  $\text{мм}/\text{с}$ .

Математическое ожидание площади единичной царапины от произвольного абразивного зерна с учетом возможности его выпадения под действием силы резания из связки инструмента равно [1]:

$$S_i(a) = 2,5 \int_0^a a_i^2 f(a_i) da_i, \quad (8)$$

где  $f(a_i)$  – плотность вероятностей глубины единичного среза  $a_i$ :

$$f(a_i) = \frac{2a_i}{a_{kp}^2} e^{-\frac{a_i^2}{a_{kp}^2}}, \quad (9)$$

где  $a_{kp}$  – критическая глубина внедрения зерна в поверхность заготовки, мм, при которой оно выпадает из связки:

$$a_{kp} = 0,14 \sqrt{\frac{k_T d_o}{\tau_{cдв}(1+\xi)}}, \quad (10)$$

где  $\xi$  – коэффициент усадки стружки;  $\tau_{cдв}$  – величина касательных напряжений сдвига обрабатываемого материала, МПа;  $k_T$  – коэффициент, зависящий от твердости инструмента.

Используя равенства (9) и (10), из выражения (8) определим:

$$S_i = 2,5 \cdot a_k^2 \cdot \left( 1 - \left( 1 + \frac{a^2}{a_k^2} \right) e^{-\frac{a^2}{a_k^2}} \right). \quad (11)$$

Глубина внедрения зерна в обрабатываемую поверхность  $a$  выражается через расстояние  $h$  от уровня его выпукания над связкой следующей зависимостью:

$$a = h - hz, \quad (12)$$

где  $hz$  – расстояние от уровня связки абразивного инструмента до уровня линии выступов неровностей обрабатываемой поверхности, мм.

Тогда с учетом равенств (7)-(12) уравнение (6) примет вид:

$$S_o = 2,5 \cdot a_k^2 \cdot z_o \cdot Ks, \quad (13)$$

где

$$Ks = 1 - \frac{\int_{\frac{hp}{do}}^{1,95} \left( 1 + \frac{do^2}{ak^2} \cdot \left( u - \frac{hp}{do} \right)^2 \right) \cdot (1,95 - u) \cdot e^{-1,65 \cdot (1,95 - u) - \frac{do}{ak^2} \left( u - \frac{hp}{do} \right)^2} du}{\int_{\frac{hp}{do}}^{1,95} (1,95 - u) \cdot e^{-1,65 \cdot (1,95 - u)} du} . \quad (14)$$

Так как эксцентрик вращается равномерно, то для удобства расчетов следует выразить время обработки через угол поворота эксцентрика:

$$\tau = \frac{30 \cdot \alpha}{\pi \cdot nc} , \quad (15)$$

где  $nc$  – частота вращения эксцентрика, об/мин.

Дифференцируя (15) и подставляя полученное выражение и (13) в (5), получим:

$$dV = \frac{75}{\pi} \cdot C_b \cdot \frac{\sqrt{v_z^2 + v_b^2}}{nc} \cdot a_k^2 \cdot \frac{Kc}{do^2} \cdot e^{-1,65 \left( 1,95 - \frac{hp}{do} \right)^2} \cdot Ks \cdot dx \cdot d\alpha . \quad (16)$$

Обозначим  $hp_o$  – минимальное расстояние уровня связки бруска до уровня выступов микропрофиля обрабатываемой поверхности. Тогда все другие точки бруска будут находиться от уровня выступов на расстоянии:

$$hp = hp_o + y . \quad (17)$$

Используя (17), выражая скорость перемещения бруска через угол поворота эксцентрика и интегрируя (16) по переменной  $\alpha$ , найдем объем снимаемого припуска одним бруском за один оборот эксцентрика:

$$V\alpha = \frac{75}{\pi \cdot nc} \cdot C_b \cdot a_k^2 \cdot dx \cdot \frac{Kc}{do^2} \cdot v_z \times \\ \times \int_0^{2\pi} \sqrt{1 + \frac{(A \cdot nc \cdot \sin \alpha)^2}{d^2 \cdot nz^2}} e^{-1,65 \left( 1,95 - \frac{hp_o + y(\alpha)}{do} \right)^2} \cdot Ks(\alpha) \cdot d\alpha , \quad (18)$$

где  $y(\alpha)$  (1) и  $Ks(\alpha)$  (14) представлены как функции от переменной величины  $\alpha$ .

Выражение (18) представляет собой объем снимаемого припуска вдоль окружности заготовки в произвольном сечении с абсциссой  $x$  на полосе шириной  $dx$  при повороте эксцентрика на угол  $\alpha=2\pi$ . Если разделить это выражение на площадь этой полоски, равной  $\pi \cdot d \cdot dx$  и умножить на 2, то получим линейный съем металла, приходящийся на диаметр, в сечении  $x$  заготовки за один ход двух брусков, а умножив полученное выражение на число двойных ходов брусков  $nc \cdot \frac{\tau}{60}$  в течение времени  $\tau$ , получим съем припуска в произвольной точке профиля за время  $\tau$ :

$$q_\tau = \frac{2,5}{\pi^2 \cdot d} \cdot C_b \cdot a_k^2 \cdot \frac{Kc}{do^2} \cdot v_z \cdot J\alpha \cdot \tau , \quad (19)$$

где

$$J\alpha = \int_0^{2\pi} \sqrt{1 + \frac{(A \cdot nc \cdot \sin \alpha)^2}{d^2 \cdot nz^2}} e^{-1,65 \left( 1,95 - \frac{hp_o + y(\alpha)}{do} \right)^2} \cdot Ks(\alpha) \cdot d\alpha . \quad (20)$$

В равенстве (20) неизвестно значение ближайшего расстояния  $hp_o$  уровня связки инструмента до уровня выступов микропрофиля обрабатываемой поверхности. Чтобы опреде-

лить значение  $hp_o$ , необходимо найти зависимость от нее силы прижима бруска к поверхности заготовки.

Элементарная сила резания абразивными зернами, находящимися на элементарной рабочей поверхности бруска  $dx$  на длине  $Cb$ , равна [2]:

$$dP_p = 51 \cdot \tau_{-1} \cdot (1 + \xi) \cdot \frac{Cb}{K_g} \cdot a_o^2 \cdot z_a \cdot dx,$$

где  $a_o$  – средняя глубина царапин от зерен в сечении заготовки  $x$ ;  $K_g$  – коэффициент притупления рабочей поверхности бруска за счет попадания в его поры стружки и связки:

$$K_g = \frac{1}{1 + \sqrt[3]{\left(\frac{\vartheta_{uu}}{\vartheta - \vartheta_{uu}}\right)^2}},$$

где  $\vartheta$  – объем пространства между абразивными зернами:

$$\vartheta = C_b d_o \left( \frac{1}{\sqrt{K_c}} - 0,5 K_c \right) \cdot dx,$$

$\vartheta_{uu}$  – объем срезанной при обработке стружки:

$$\vartheta_{uu} = \frac{1,25}{\pi \cdot n c} \cdot C_b \cdot a_k^2 \cdot \frac{K_c}{d_o^2} \cdot v_z \cdot J_g \cdot dx.$$

Коэффициент  $J_g$  вычисляется по формуле (20) с той лишь разницей, что в равенстве (20) фиксированным являлось поперечное сечение заготовки с абсциссой  $x$ , а в данном случае фиксированной является полоска рабочей поверхности бруска с абсциссой  $x'$ .

Математическое ожидание элементарной силы резания:

$$dP_p = 51 \cdot \tau_{-1} \cdot (1 + \xi) \cdot Cb \cdot \frac{K_c}{K_g \cdot d_o^2} \cdot dx \cdot \int_{hp}^{\infty} \int_0^{h-hp} a^2 \cdot f(a) \cdot f(h) \cdot da \cdot dh. \quad (21)$$

После преобразований выражения (21), подобных (8) и (11) и используя обозначение (14), получим:

$$dP_p = 51 \cdot \tau_{-1} \cdot (1 + \xi) \cdot C_b \cdot a_k^2 \cdot \frac{K_c}{K_g \cdot d_o^2} \cdot e^{-1,65 \left(1,95 - \frac{hp}{d_o}\right)^2} \cdot K_s(hp) \cdot dx. \quad (22)$$

Подставляя в равенство (22) значения  $hp$  из выражения (17) и интегрируя его по переменной  $x$  вдоль площадки контакта, получим значение силы резания:

$$P_p = 51 \cdot \tau_{-1} \cdot (1 + \xi) \cdot C_b \cdot a_k^2 \cdot \frac{K_c}{d_o^2} \cdot \frac{Ld}{2} \cdot J_p, \quad (23)$$

где

$$J_p = \int_{-1}^1 e^{-1,65 \left(1,95 - \frac{hp_o + y(t)}{d_o}\right)^2} \cdot K_s(hp_o + y(t)) \cdot dt. \quad (24)$$

Если при заданной силе из равенств (23) и (24) найти  $hp_o$  и подставить это значение в равенства (19) и (20), то можно найти съем материала в произвольном сечении заготовки за время  $\tau$ . Следовательно, обеспечивается возможность найти форму профиля обработанной поверхности заготовки при ее исходной форме. Если исходный профиль заготовки непрямолинеен и определяется равенством:

$$y_z = K_z \cdot x_z^n,$$

где  $K_z$  – коэффициент исходной формы профиля заготовки, ( $1/\text{мм}^{n-1}$ );  $n$  – показатель формы, то после обработки форма профиля обработанной поверхности будет соответствовать равенству:

$$y = K_z \cdot x_z^n - q(x) , \quad (25)$$

где  $q(x)$  – величина съема металла за время  $\tau$  как функция от  $x$ .

Так как полученные выражения в неявном виде описывают процесс формирования профиля заготовки, то для их анализа необходимо использование вычислительной техники. Разработаны алгоритм и программа, позволяющие вычислять с учетом указанных выше факторов радиус профиля брусков, их глубину контакта с заготовкой, ширину площадки контакта, коэффициент затупления брусков, съем металла в центре и по краям профиля заготовки и величину ее выпуклости.

Выполнен анализ влияния технологических факторов на параметры многобрускового суперфиниширования. Показано, что за счет неравномерной скорости перемещения брусков вдоль профиля заготовки съем металла в центре профиля получается выше, чем по краям профиля. Однако в центре профиля бруски менее забиты стружкой и шламом, чем по краям, и поэтому режущая способность брусков в центре профиля заготовки выше. Эти два противоречивых фактора можно использовать для получения выпуклого профиля заготовки и для получения вогнутого профиля. На основе выполненных исследований определены наиболее благоприятные условия для получения на обработанной поверхности выпуклого профиля, что отвечает требованиям обеспечения высокой работоспособности подшипников качения.

Проверка адекватности математической модели показала, что расчетные и экспериментальные значения съема металла и величины выпуклости обработанной поверхности имеют расхождения, соответствующие уровню значимости 0,95.

**Королев Альберт Викторович** –

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета

**Крайнов Сергей Сергеевич** –

заместитель генерального директора по производству  
ОАО «Саратовский подшипниковый завод»

УДК 621.822.6

**А.В. Королев, Ю.В. Чеботаревский**

#### **ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

*Исследованы вероятностные параметры технологического разрушения твердых тел. Показано, что вероятность разрушения тела зависит от параметров распределения числа и величин дефектов материала и от разрушаемого объема. С увеличением объема разрушаемой части тела возрастает число участвующих в разрушении дефектов материала и, следовательно, повышается число дефектов на разрушенной поверхности тела.*

A.V. Koroljov, Yu.V. Chebotarevsky

**FIRM BODIES' TECHNOLOGICAL DESTRUCTION  
PROBABALISTIC PARAMETERS**

*Probabilistic parameters of technological destruction of firm bodies are researched in this article. It is shown, that the probability of destruction of a body depends on parameters of distribution of number and sizes of defects of a material and destroyed volume. With increase of volume of a destroyed part of a body the number of defects of a material participating in destruction grows and, hence, the number of defects on the destroyed surface of a body rises.*

Так как дефекты материалов твердых тел возникают случайным образом и неравномерно распределены в их объеме, то следует предположить, что разрушение твердых тел носит вероятностный характер. Покажем это сначала на примере теории хрупкого разрушения Гриффитса [1], в соответствии с которой разрушение происходит под действием развития микротрещин материала.

Свяжем подводимую к заготовке энергию  $E_V$  с разрушаемым объемом. Пусть растяжению с напряжением  $\sigma$  подвергается пластина объемом  $V$ , в которой имеется множество трещин со случайными размерами  $l$  (рис. 1). Трещины образуют пуассоновское поле с плотностью  $\rho_l$  (шт/м<sup>3</sup>). Плотность вероятностей распределения размеров трещин обозначим через  $f(l)$ .

Если в произвольном объеме  $V$  имеется хотя бы одна трещина размером  $l \geq l_G$ , то пластина подвергается частичному разрушению, от нее отделяется объем  $V_0$ . Вероятность появления трещин размером  $l \geq l_G$  равна:

$$F(l \geq l_G) = 1 - \int_0^{l_G} f(l) \cdot dl. \quad (1)$$

Вероятность  $H_m$  того, что в объеме  $V$  имеется  $m$  трещин ( $m=1,2,3,\dots$ ), в соответствии с законом Пуассона равна:

$$H_m = \frac{(\rho_l \cdot V)^m}{m!} e^{-\rho_l \cdot V}.$$

На основе формулы полной вероятности вероятность осуществления события, состоящего в разрушении тела ввиду появления в его объеме величиной  $V$  трещин размером  $l \geq l_G$ , равна:

$$F(l, V) = \sum_{m=1}^{\infty} H_m [F(l \geq l_G)]^m = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(\rho_l \cdot V)^m}{m!} [F(l \geq l_G)]^m e^{-\rho_l \cdot V}, \quad (2)$$

где вероятность  $F(l \geq l_G)$  определяется равенством (1) и зависит от вида распределения величин трещин.

Решая уравнение (2), находим:

$$F(l, V) = 1 - \exp(-\rho_l \cdot V \cdot F(l \geq l_G)). \quad (3)$$

Как видно из равенства (3), вероятность разрушения тела на величину объема  $V$  экспоненциально зависит от плотности  $\rho_l$  расположения трещин в теле и от вероятности  $F(l \geq l_G)$  появления в теле трещин величиной более  $l \geq l_G$ .

Впервые вероятностное распределение дефектов в твердом теле изучали А.П. Александров и С.Н. Журков [2]. Они получили экспоненциальный закон распределения дефектов

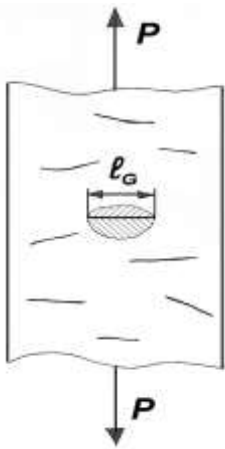


Рис. 1. Схема действия растягивающей нагрузки  $P$  на пластину с дефектами в виде микротрещин

и связали вероятность появления дефекта с объемом, в котором они распределяются. Е.И. Гумбел [3] уточнил решение А.П. Александрова и С.Н. Журкова. В соответствии с предложенной им теорией все тело объемом  $V$  разбивается на отдельные элементы (звенья) объемом  $V_3$  и если в одном из этих элементов возникает напряжение, большее критического, то тело разрушается. Согласно Е.И. Гумбелу [3], вероятность того, что при напряжении  $\sigma$  тело еще не разрушится, равна:

$$F(\sigma, V) = 1 - \exp[-(\sigma/\sigma_0)^\alpha (V/V_3)], \quad (4)$$

где  $\sigma_0$  – наиболее вероятное значение напряжения;  $\alpha$  – показатель неоднородности напряжений.

Приведенная выше формула означает, что в теле нет ни одного дефекта с прочностью, меньшей  $\sigma$ . Сравнение данного выражения и выражения (3) показывает, что нами предложена более общая и более точная зависимость для расчета вероятности разрушения тела. Более высокая точность определяется более высоким приближением к реальному состоянию твердых тел, которые не состоят из отдельных элементов, как это предполагает формула (4), а являются сплошными телами, как это учитывает формула (3). Кроме того, у хрупких тел, а именно для таких тел предложены обе формулы, как было по-

казано выше, разрушение происходит из-за наличия в них дефектов в виде микротрещин, что формула (4) не учитывает. По формуле (4) разрушению подвергается все тело размером  $V$ , хотя это не согласуется с практикой, а в соответствии с формулой (3) от тела произвольного объема при наличии микротрещин в процессе разрушения с вероятностью  $F(n \geq n_k)$  отделяется лишь часть объема величиной  $V_o$ , в то время как само тело может продолжать работать. К тому же, трудно дать четкое определение и наиболее вероятному напряжению в теле  $\sigma_0$  и объему элемента тела  $V_3$  и предложить методику их определения. Это ограничивает практическую ценность формулы (4) Е.И. Гумбела.

Более высокая общность формулы (3) обеспечивается тем, что она не ограничена каким-либо одним законом распределения величин дефектов в теле, как в формуле (4), а предполагает наличие любого закона, например, наиболее часто встречающегося на практике нормального закона распределения размеров дефектов в виде трещин. Представленное нами выражение не противоречит и известной формуле Вейбулла, предложенной им для расчета вероятности  $F(t)$  наработки тел до отказа:

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda \cdot (t - a)^\alpha),$$

где  $t$  – время работы;  $a$  и  $\lambda$  – постоянные коэффициенты.

Однако формула Вейбулла получена эмпирически и не раскрывает физической сущности рассматриваемого явления.

Дифференцируя выражение (3), несложно определить условную плотность распределения вероятностей разрушенного объема тела:

$$f(V/l) = \rho_l F(l \geq l_G) \exp(-\rho_l V F(l \geq l_G)). \quad (5)$$

В объеме  $V$  может находиться множество трещин с длиной, равной или большей критической, которая определяется равенством:

$$N_V = V \cdot \rho_l \cdot F(l \geq l_G).$$

Тогда средний объем, в котором появится хотя бы одна трещина размером  $l \geq l_G$ , равен:

$$V_0 = \int_0^{\infty} V \cdot f(V/l) \cdot dV = \rho_l \cdot F(l \geq l_G) \int_0^{\infty} V \cdot \exp(-V \cdot \rho_l \cdot F(l \geq l_G)) \cdot dV.$$

Решая представленное выше интегральное уравнение, получим:

$$V_0 = \frac{1}{\rho_l \cdot F(l \geq l_G)}. \quad (6)$$

Величина  $V_0$  имеет размерность кубических метров, так как величина  $\rho_l$  измеряется в шт./м<sup>3</sup>.

На основании равенств (5) и (6) выражение плотности вероятностей  $f(V)$  и вероятности  $F(V)$  разрушения объема  $V$  можно записать в более удобном виде:

$$\begin{aligned} f(V) &= \frac{1}{V_0} \exp\left(-\frac{V}{V_0}\right); \\ F(V) &= 1 - \exp\left(-\frac{V}{V_0}\right). \end{aligned} \quad (7)$$

Чтобы более наглядно проанализировать выражение (7), перейдем в этом равенстве от объема к длине:

$$V = F \cdot L,$$

где  $L$  – длина пластины;  $F$  – площадь поперечного сечения пластины.

Тогда из равенства (7)

$$f(L) = 1 - \exp\left(-\frac{L}{L_0}\right),$$

где  $L_0$  – длина пластины, на которой в среднем имеется одна трещина критической величины.

На рис. 2 показана зависимость вероятности разрушения пластины от ее длины.

Как видно из рис. 2, при малой длине пластины, значительно меньшей длины  $L_0$ , вероятность ее разрушения мала. С увеличением длины пластины вероятность ее разрушения возрастает. Однако при длине пластины, большей  $(4-5)L/L_0$ , вероятность разрушения пластины приближается к единице и уже практически не зависит от длины. Следовательно, очень короткие изделия прочнее длинных.

Как известно [4], работа внутренних сил, затраченная на разрушение пластины, равна:

$$E_v = \frac{2}{3} \pi \cdot \frac{\sigma_l^2}{E} \cdot k_m \cdot \sum_{i=1}^N l_i^3, \quad (8)$$

где  $\sigma_l$  – напряжение, при котором разрушается трещина длиной  $l$ ;  $k_m$  – безразмерный коэффициент, зависящий от вида деформированного состояния: плоскодеформированного ( $k_m=1-\mu^2$ ) или плосконапряженного ( $k_m=1$ );  $E$  и  $\mu$  – модуль упругости и коэффициент Пуассона соответственно;  $N$  – число трещин в пластине ( $N=V_0 \cdot \rho_l$ ).

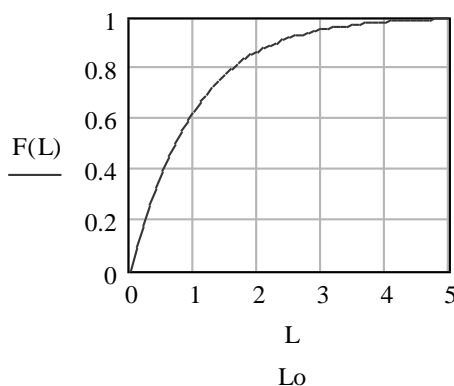


Рис. 2. Вероятность  $F(L)$  разрушения пластины, находящейся под действием сил растяжения, в зависимости от ее относительной длины  $L/L_0$

При достаточно большом  $N$  от суммирования в равенстве (8) можно перейти к интегрированию. Для этого разобьем весь возможный интервал размеров трещин на элементарные интервалы  $dl$  и определим число трещин  $N_i$  длиной  $l$  в этом интервале:

$$N_i = N \cdot f(l) \cdot dl . \quad (9)$$

С учетом равенства (9) выражение (8) примет вид:

$$E_0 = \frac{2}{3} \pi \cdot \frac{\sigma^2}{E} \cdot k_m \cdot \sum_1^N N_i \cdot l^3 = \frac{2}{3} \pi \cdot \frac{\sigma^2}{E} \cdot k_m \cdot N \sum_1^N f(l) \cdot l^3 \cdot dl , \quad (10)$$

где  $C$  – число интервалов, равное

$$C = \frac{l_G - l_{\min}}{dl} .$$

При  $dl \rightarrow 0$  величина  $C \rightarrow \infty$ . Тогда выражение (10) примет вид:

$$E_0 = \frac{2}{3} \pi \cdot \frac{\sigma^2}{E} \cdot k_m \cdot N \int_0^{l_G} f(l) \cdot l^3 \cdot dl . \quad (11)$$

Подставляя в равенство (11) значение  $N$  из выражения (8), найдем:

$$E_0 = \frac{2}{3} \pi \cdot \frac{\sigma^2}{E} \cdot k_m \cdot \rho_l \cdot V_0 \cdot \int_0^{l_G} f(l) \cdot l^3 \cdot dl . \quad (12)$$

Решая уравнение (12) относительно разрушенного объема  $V$ , определим:

$$V_0 = E_0 \frac{3E}{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2 \cdot k_m \cdot \rho_l \cdot \int_0^{l_G} f(l) \cdot l^3 \cdot dl} . \quad (13)$$

Как следует из равенства (13), величина

$$E_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2 \cdot k_m \cdot \rho_l \cdot \int_0^{l_G} f(l) \cdot l^3 \cdot dl}{3E} \quad (14)$$

представляет собой работу, необходимую для разрушения единицы объема материала. Следовательно, она является внутренней энергией насыщения единицы объема материала. Равенство (14) показывает, что внутренняя энергия насыщения материала является вероятностной величиной, так как зависит от плотности вероятностей  $f(l)$  распределения размеров трещин.

Если при деформации тела объемом  $V$  затрачена работа  $E_v$ , то в соответствии с равенством (14):

$$V = \frac{E_v}{E_0} . \quad (15)$$

Следовательно, в соответствии с выражением (15) при разрушении тела, имеющего дефекты в виде трещин, объем разрушенного тела прямо пропорционален работе внешних сил и обратно пропорционален удельной внутренней энергии насыщения тела.

Физика разрушения твердых тел рассматривается и во многих других работах [5-7 и др.]. Но представленные нами исследования на основе теории Гриффитса с энергетических позиций с учетом стохастического характера разрушения открывают новые возможности для совершенствования технологических процессов.

Теория Гриффитса и все полученные на основе ее решения справедливы для хрупких тел. С поправками В.И. Владимирова [4]  $r_l \gg r_0$  эта теория может быть использована и для упругопластичных тел.

Примерно к такому же выводу можно прийти при рассмотрении дислокационной природы разрушения твердых тел [8 и др.]. По всей вероятности, трещины зарождаются в



местах больших скоплений дислокаций. Поэтому общепринятый детерминированный подход к построению моделей зарождения дислокационных трещин и разрушению материалов не дает положительного результата.

Число дислокаций  $n$  в скоплениях дислокаций является случайной величиной и распределено по закону Пуассона:

$$P_n = \frac{n_0^n}{n!} e^{-n_0}, \quad (16)$$

где  $n_0$  – математическое ожидание числа дислокаций в скоплении.

Тогда с учетом равенства (16) вероятность того, что в материале имеется скопление с критическим значением  $n=n_k$ , при котором зарождается дислокационная трещина, равна:

$$F(n \geq n_k) = 1 - \sum_{n=0}^{n_k} \frac{n_0^n}{n!} e^{-n_0}. \quad (17)$$

Среднее число скоплений дислокаций в единице объема материала обозначим через  $N_0$ . Тогда в объеме материала  $V$  в среднем имеется  $N_0 \cdot V$  скоплений. На самом деле число скоплений в объеме материала  $V$  является случайной величиной, распределенной по закону Пуассона. Рассматриваемое событие состоит в том, что материал объемом  $V$  разрушится, если в этом объеме имеется  $N_k$  число скоплений с критическим числом дислокаций  $n_k$ , вызывающим появление устойчивых дислокационных трещин. Вероятность этого события равна:

$$F(n_k, N_k) = \sum_{N=1}^{\infty} (1 - F(n \geq n_k))^N \frac{(N_0 \cdot V)^N}{N!} e^{-N_0 \cdot V}. \quad (18)$$

Решая равенство (18), найдем:

$$F(n_k, N_k) = 1 - e^{-N_0 \cdot V \cdot F(n \geq n_k)}, \quad (19)$$

где  $F(n \geq n_k)$  определяется равенством (17).

В выражении (19)  $n_k = \tau / \tau_k$ , откуда с использованием выражения (17) несложно определить значение  $F(n \geq n_k)$ . Значение  $N_0 \cdot V$  зависит от требуемого качества изделия. В наиболее ответственных случаях достаточно и одной трещины, чтобы изделие признать негодным. В других случаях можно допустить наличие нескольких трещин или даже их скопления. Но на практике обычно приходится решать обратную задачу, а именно по заданной надежности изделия, иначе по заданному значению  $F(n_k, N_k)$ , определять критическое число трещин. Эта задача решается путем логарифмирования выражения (19):

$$N_0 \cdot V \cdot F(n \geq n_k) = \ln(1 - F(n_k, N_k)). \quad (20)$$

Из выражения (20)

$$V = \frac{\ln(1 - F(n_k, N_k))}{N_0 \cdot F(n \geq n_k)}. \quad (21)$$

Как видно из равенства (21), расчетное значение разрушенного объема материала существенно зависит от заданной надежности вычислений. Чем более необходима высокая надежность вычислений, тем более высокий должен допускаться разрушенный объем материала. В связи с этим рассмотрим процесс развития дислокационных трещин с вероятностных позиций.

Свяжем дефектный объем материала  $V$  с приращением внутренней энергии. Известно [4], что для создания  $N_k$  трещин требуется энергия, равная:

$$E_V = \left( \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\sigma^2}{E} + \tau \cdot \varepsilon_l \right) \cdot L \cdot \sum_{i=1}^{N_k} l_i^2. \quad (22)$$

Применяя к равенству (22) процедуру, используемую для выражений (9)-(12), получим:

$$E_V = \left( \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\sigma^2}{E} + \tau \cdot \varepsilon_l \right) \cdot L \cdot N_k \int_0^{\infty} l_i^2 \cdot \varphi(l) \cdot dl, \quad (23)$$

где  $\varphi(l)$  – плотность вероятностей распределения размера трещин.

Подставляя в выражение (13) значение  $N_k = VN_0$ , найдем:

$$E_V = \left( \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\sigma^2}{E} + \tau \cdot \varepsilon_l \right) \cdot L \cdot V \cdot N_0 \int_0^{\infty} l_i^2 \cdot \varphi(l) \cdot dl. \quad (24)$$

Из равенства (24) получим:

$$V = \frac{E_V}{\left( \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\sigma^2}{E} + \tau \cdot \varepsilon_l \right) \cdot L \cdot N_0 \int_0^{\infty} l_i^2 \cdot \varphi(l) \cdot dl}. \quad (25)$$

Так как работа внешних сил равна энергии образования дислокаций, в результате которых возникают трещины, то из сравнения знаменателя выражения (25) с равенством (13) можно сделать вывод, что знаменатель представляет собой энергию насыщения единицы объема материала:

$$E_0 = \left( \frac{\pi}{8} \cdot \frac{\sigma^2}{E} + \tau \cdot \varepsilon_l \right) \cdot L \cdot N_0 \int_0^{\infty} l_i^2 \cdot \varphi(l) \cdot dl. \quad (26)$$

На основании равенства (26) выражение (25) примет вид:

$$V = \frac{A}{E_0}. \quad (27)$$

Выражение (27), как и выражение (15), показывает, что разрушенный объем заготовки пропорционален работе внутренних сил и обратно пропорционален удельной внутренней энергии насыщения единицы объема материала заготовки, при которой происходят разрушения.

Следовательно, в соответствии с выражениями (15) и (27) при разрушении тела, имеющего дефекты в виде трещин или скопления дислокаций, объем разрушенного тела прямо пропорционален работе внешних сил и обратно пропорционален удельной внутренней энергии насыщения тела. Это означает, что если, например при механической обработке деталей, деформации и разрушению подвергается большой объем, то в процесс разрушения вовлекается большое количество дефектов и на обработанной поверхности появятся следы значительных разрушений, возникнут большие дефекты. И наоборот, если к телу прикладывается небольшая локально направленная технологическая энергия, то вероятность появления значительных дефектов на поверхности разрушения маловероятна.

Таким образом, качество механической обработки можно характеризовать затратами подводимой при обработке энергии. Причем эта связь носит случайный характер, так как внутренняя энергия насыщения материала твердых тел является случайной величиной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Griffith A.A. The Phenomena of Rupture and Flow in Solids / A.A. Griffith // Physical Transaction. 1921. № 221. P. 163-198.
2. Александров А.П. Явление хрупкого разрыва / А.П. Александров, С.Н. Журков. М.-Л.: Техиздат, 1993. 151 с.
3. Gumbel E.I. Statistics of extremes / E.I. Gumbel. New York: Columbia University Press, 1958. 375 p.
4. Владимиров В.И. Физическая природа разрушения металлов / В.И. Владимиров. М.: Металлургия, 1984. 280 с.

5. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел / А. Надаи. Т. 1. М.: Изд-во иностранной литературы, 1954. 647 с. Т. 2. М.: Мир, 1969. 863 с.
6. Потак Я.М. Хрупкое разрушение стали и стальных деталей / Я.М. Потак. М.: Оборонгиз, 1955. 347 с.
7. Финкель В.М. Физика разрушения / В.М. Финкель. М.: Металлургия, 1970. 376 с.
8. Старков В.К. Дислокационные представления о резании металлов / В.К. Старков. М.: Машиностроение, 1979. 160 с.

**Королев Альберт Викторович –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Технология машиностроения»  
Саратовского государственного технического университета

**Чеботаревский Юрий Викторович –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Теоретическая механика»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 629.004.67

**А.Т. Кулаков, А.С. Денисов**

**НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ЗАЗОРОВ В ШАТУННЫХ ПОДШИПНИКАХ  
ИЗ-ЗА ОБРАЗОВАНИЯ ПРОГИБА ВКЛАДЫШЕЙ**

*Проведена оценка влияния различных факторов на деформирование шатунных вкладышей двигателя. Дан анализ результатов экспериментального исследования изменения зазоров в шатунных подшипниках вследствие деформирования вкладышей в процессе стендовых испытаний. Сформулированы рекомендации по снижению деформаций вкладышей в процессе эксплуатации.*

**A.T. Kulakov, A.S. Denisov**

**INSTABILITY OF THE SPLITS IN CONNECTING ROD BEARINGS DUE  
TO FORMATION OF THE INLAYER BENT**

*An assessment of the various factors effect on the deformation of the inlayers of the engine was conducted. An analysis of the results of the experiment research of the splits change in connecting rod bearings as a result of deformation of the inlayers was conducted in the process of the laboratory poster trials. The recommendation on deformation decrease of the layers in the process of exploitation is made here.*

Результаты эксплуатации двигателей на автомобилях КамАЗ указывают на наличие малоизученных явлений, снижающих их надежность и ограничивающих технический ресурс. Одним из них является проворачивание шатунных вкладышей, вызванное их деформацией.

Ранее проведенными исследованиями [1-3,5] установлено, что проворачиванию вкладышей предшествует их деформация с образованием прогиба  $\Delta$ , с уменьшением зазора  $S$  в шатунном подшипнике до  $S=0$  (схема деформации шатунного вкладыша в поперечном сечении – рис. 1).

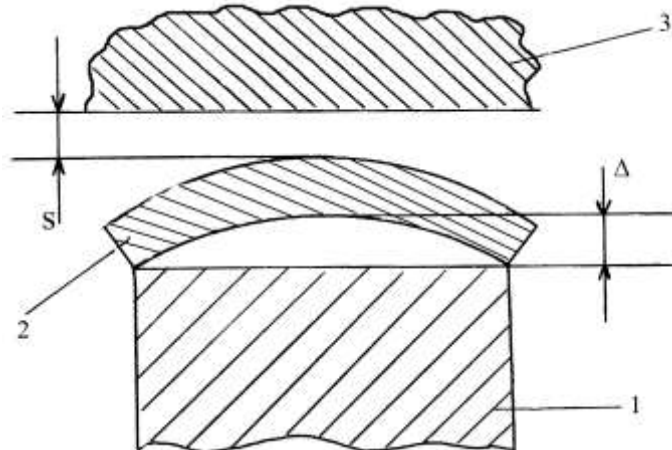


Рис. 1. Схема поперечной деформации вкладыша: 1 – шатун; 2 – вкладыш; 3 – шейка

По данным, изложенным в [1-3, 5], процесс проворачивания шатунных вкладышей представляется как деформация вкладышей во времени, с образованием корсетности (прогиба), выборки зазора и схватывания. Многочисленными измерениями вкладышей определены геометрические параметры и величины остаточных деформаций в свободном состоянии после разборки двигателя.

Деформация вкладышей обуславливается их напряженным состоянием, режимами смазки шатунных подшипников [1-3, 5] и происходит при работе двигателя в течение какого-то времени более или менее интенсивно в зависимости от сочетания различных факторов. Естественно, что до получения остаточных деформаций деформирование вкладышей на начальном этапе происходит в упругой области, то есть они возникают и исчезают, а затем накапливаются.

Цель настоящей работы – при работающем двигателе в момент образования прогиба ( $\Delta$ ) шатунного вкладыша оценить его влияние на зазор в шатунном подшипнике и условия появления, снижения и накопления прогиба.

Для этого была разработана и изготовлена измерительная система из элементов применяемых в промышленности приборов активного контроля с использованием сжатого воздуха. Коленчатый вал двигателя КамАЗ доработан по передней шейке 5-го цилиндра для подвода измерительного воздуха по оси коленчатого вала с выходом через 2 жиклера, расположенных диаметрально противоположно в плоскости  $30^\circ$  от оси кривошипа после верхней мертвой точки 5-го цилиндра по центру шейки. Измерительная система позволяет определить изменение зазора в шатунном подшипнике относительно начального. Измерения проводились на остановленном двигателе после различных режимов работы в положении оси жиклеров вдоль оси шатуна в такте сжатия при закрытых клапанах. Для этого после каждой остановки двигателя путем ручного поворота совмещались специальные метки на маховике и неподвижном картере маховика, после чего в плоскости оси шатуна замеряли величину расхода воздуха. После каждого режима работы двигателя измерения зазора в шатунном подшипнике проводили в такте сжатия при закрытых клапанах.

Измерениями определяли начало образования прогиба вкладышей по увеличению разницы исходного зазора  $S_0$  и зазоров после работы на режимах  $S_1$  и ее росту (накоплению). При этом также выявляется влияние различных режимов на рост и накопление прогиба.

С этой целью режимы испытаний последовательно изменяли по оборотам, нагрузкам, температурам, давлению масла и так далее, а измерения проводили сразу после остановки двигателя. За один исследовательский день ставили задачу добиться максимального прогиба вкладыша.

После полной остановки двигателя осуществляются те же измерения по времени выдержки (разница зазоров исходного и фактического) для отслеживания релаксации (уменьшения разницы) и появления остаточного прогиба.

Исследования проводились в боксе № 119 ОАО «КамАЗ-Дизель» на стенде фирмы «AVL» с гидротормозом фирмы «SCHENCK». Испытательный стенд укомплектован необходимым оборудованием и приборами, точность которых соответствует требованиям ГОСТ 14846.

Перед сборкой двигателя проводили микрометраж вкладышей по величине выступания в контрольном приспособлении по размеру в плоскости стыков в свободном состоянии до и после монтажа. Микрометраж проведен на участке входного контроля завода двигателей. Точность измерения выступания вкладышей в контрольном приспособлении – 0,001 мм; диаметра по стыку в свободном состоянии – 0,01 мм. Вкладыши подбирали в пределах чертежных допусков.

Перед установкой вкладышей проводился микрометраж расточек нижних головок шатунов. Шатунные болты при этом затягивались до удлинения 0,25...0,27 мм. Также снимались круглограммы на приборе «Talirond».

После установки вкладышей (шатунные болты также затягивались до удлинения 0,25...0,27 мм) повторно снимались круглограммы расточек шатунов и профилограммы рабочей поверхности вкладышей по образующей.

Замерили диаметр шатунной шейки по  $\varnothing 80$  и рассчитали фактический зазор в сопряжении шатунная шейка-вкладыш. Зазор в исходном состоянии составил  $S=0,105$  мм.

По результатам микрометража установлено, что шатун в сборе с вкладышами и зазор в шатунном подшипнике соответствует чертежно-технической документации.

На коленчатом валу перед установкой в двигатель с использованием измерительной системы производили подгонку и тарировку жиклеров по расходам воздуха (рис. 2) в следующей последовательности:

1. Устанавливаем давление воздуха на входе  $P_6 = 0,2$  МПа.
2. Заглушаем отверстие жиклера № 1 и измеряем расход воздуха из отверстия жиклера № 2 ( $S_2$ ).
3. Заглушаем отверстие жиклера № 2 и измеряем расход воздуха из отверстия жиклера № 1 ( $S_1$ ).
4. Сравниваем значения расходов  $S_1$  и  $S_2$ . Подгоняем меньшее проходное сечение до большего и добиваемся разницы не более 3% (см. результаты в таблице) за счет увеличения диаметра жиклера.

Аналогично проводили тарировку и подгонку по расходу воздуха совместно с вкладышами, в следующей последовательности:

1. Устанавливаем давление воздуха на входе  $P_6 = 0,2$  МПа.
2. Прикрываем вкладышем 1-й жиклер шатунной шейки и одновременно запираем отверстие 2-го жиклера ( $S'_1$ ).
3. Прикрываем вкладышем 2-й жиклер шатунной шейки и одновременно запираем отверстие 1-го жиклера ( $S'_2$ ).
4. Сравниваем показания  $S'_1$  и  $S'_2$ , подгоняем меньшее сечение до большего путем заглубления носика жиклера и добиваемся разницы не более 3%.

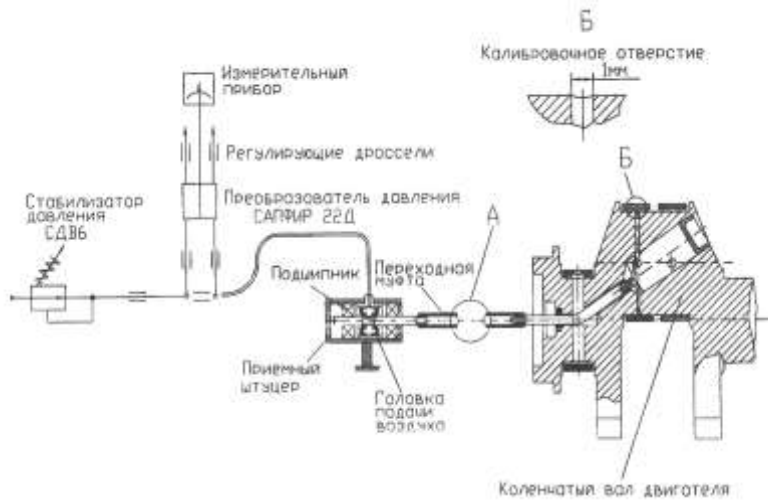


Рис. 2. Схема измерения условного диаметра вкладыша

В разработанной методике измеряли условный диаметр вкладыша путем подвода воздуха через калиброванные отверстия жиклера в шатунной шейке коленчатого вала двигателя при различных условиях смазки шатунных подшипников.

Расход воздуха	Показания прибора, %
При полностью открытых двух жиклерах $S$ , %	100
При полностью закрытых двух жиклерах $S$ , %	0
Запирание жиклера 1 ( $S_2$ ), %	70
Запирание жиклера 2 ( $S_1$ ), %	69
С установленными вкладышами:	
– верхний (запирание отв. 2) ( $S'_2$ ), %	20
– нижний (запирание отв. 1) ( $S'_1$ ), %	17

Режим смазки шатунных подшипников задавали путем снижения давления масла и уменьшения подачи масла к шатунным вкладышам. Для создания требуемого давления в системе смазки двигателя, часть масла из масляного фильтра перепускали в масляный поддон через дополнительный маслопровод с регулирующим вентилем.

Методика измерения условного диаметра вкладыша состоит в том, что воздух под давлением 0,2 МПа, пройдя через регулируемые и нерегулируемые дросселирующие устройства и преобразователь давления «Сапфир-22Д», поступает на измерительное устройство типа «Marross» (см. рис. 2). Из измерительного устройства поток воздуха поступает на головку подачи воздуха приемного штуцера. Устройство приемного штуцера позволяет осуществить переток воздуха из не вращающейся части во вращающийся коленчатый вал (рис. 2).

Внутри шатунной шейки просверлены два диаметрально противоположных отверстия в плоскости  $30^\circ$  от оси кривошипа, в которые вставляются воздухоподводящие трубки. Выходное отверстие трубок оканчивается точным жиклером  $\varnothing 1$  мм. Входы трубок на уровне торца коленчатого вала соединяются в одну. Воздух из приемного штуцера поступает на входные отверстия трубок, здесь поток разделяется и по трубкам подается непосредственно к месту измерения условного диаметра вкладыша. Воздух выбрасывается в полость между жиклерами шатунной шейки и шатунным вкладышем, и шкала измерительного прибора фиксирует по перепаду давления в измерительном устройстве условный диаметр вкладыша.



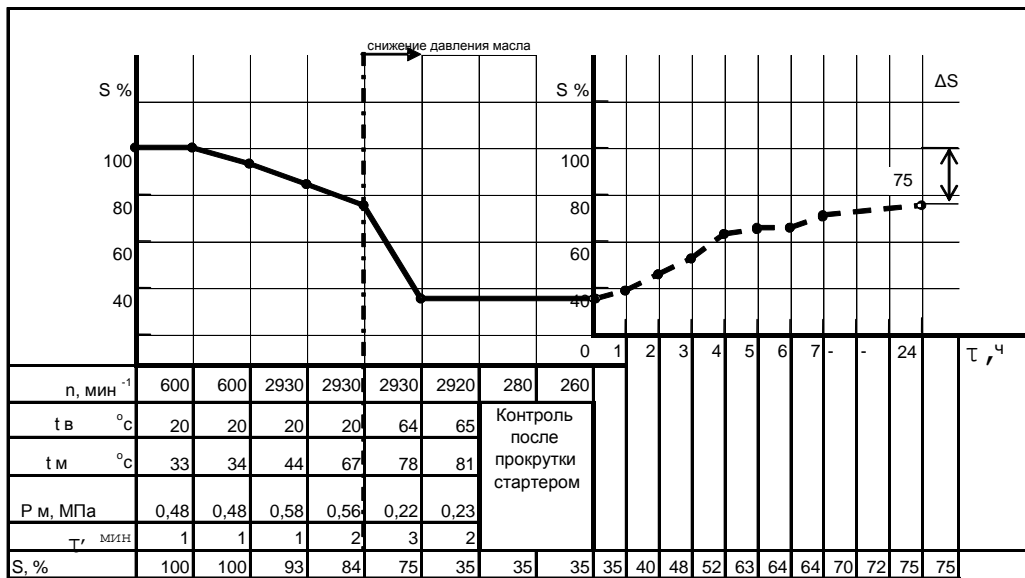


Рис. 4. Изменение зазора в шатунном подшипнике в ходе испытаний при снижении давления в системе смазки

Уменьшение зазора составило 25%. Проверка осуществлялась путем перекрытия воздуха на участке «А» – при этом показания прибора составляли 0%. При открытом подводе воздуха на участке «А» и давлении  $P_с=0,2$ МПа показания прибора составили 75%.

Таким образом, в процессе испытаний на двигателе по первой шатунной шейке зазор уменьшился за счет деформации вкладышей на  $\Delta S=0,105 \times 0,25=26$  мкм.

Эксперимент № 3 (см. рис. 5).

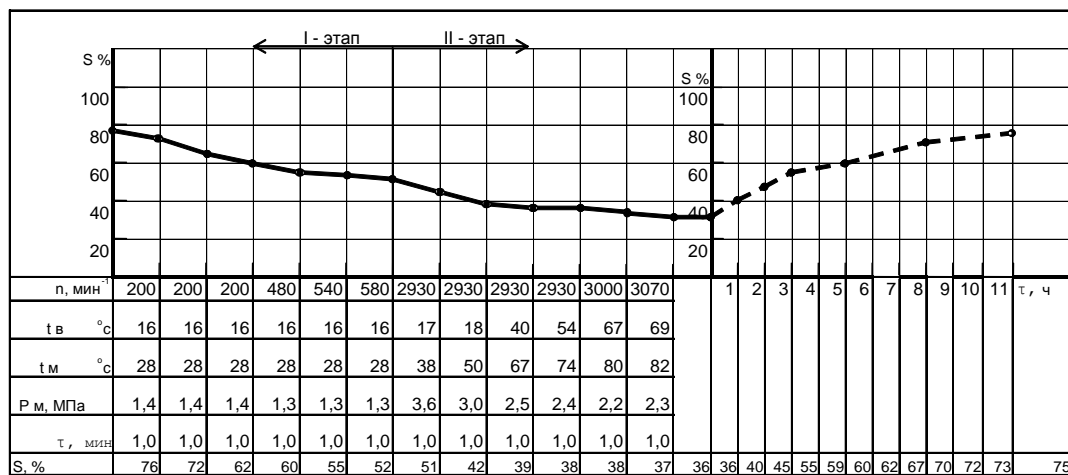


Рис. 5. Изменение зазора в шатунном подшипнике в ходе проворачивания стартером и испытаний



После выдержки двигателя в течение трех суток с постоянным контролем величины зазора испытания были продолжены с целью еще раз получить деформацию вкладышей и затем проследить рост остаточных деформаций после выдержки.

На первом этапе при прокрутке стартером без существенного изменения параметров двигателя прогиб шатунных вкладышей увеличивается, зазор  $S$  уменьшается. На втором этапе режимами максимальных оборотов добивались максимального прогиба. Затем при выдержке в течение 10 часов контролировали и отмечали снижение прогиба и увеличение зазора, но остаточная деформация сохранилась.

В этом эксперименте отмечен рост деформации вкладышей в период запуска и нарастание деформации вкладышей в ходе испытаний.

В конце испытаний зазор уменьшился до 36%, а затем восстановился до  $S_1=75\%$  через 10 часов.

Таким образом, в экспериментах № 1, 2, 3 подтверждены характерные формоизменения шатунных вкладышей.

Исследованиями установлено, что проворачивание вкладышей представляет собой развивающийся процесс последовательного изменения геометрии самого шатунного вкладыша. Этот процесс начинается в нормальных условиях с первых часов работы двигателя и выражается в образовании прогиба по образующей и уменьшении фактического зазора в шатунном подшипнике.

Вкладыш при работе не является прямолинейным по образующей. При длительной работе двигателя вкладыш с образовавшимся прогибом работает в условиях ухудшенного теплоотвода в шатун, вследствие чего средняя часть вкладыша перегревается и происходит необратимо дальнейшее нарастание прогибов, до полного исчезновения зазора и масляной пленки, сцепление вкладыша с шейкой и в конечном итоге проворачивание вкладышей (рис. 6).

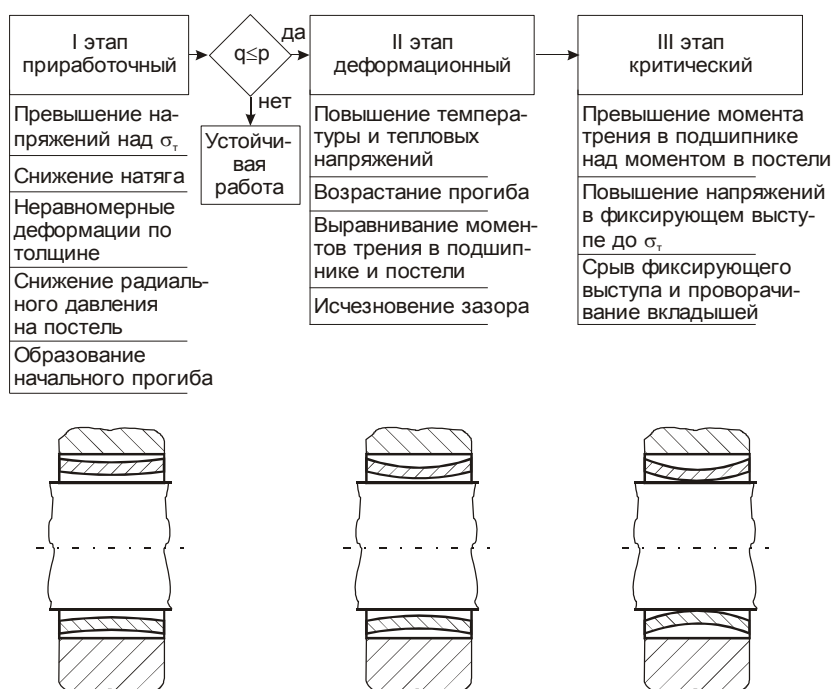


Рис. 6. Схема развития проворачивания шатунных вкладышей:  $q$  – радиальное давление вкладыша на шатун;  $p$  – давление отрыва вкладыша из-за деформации

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили формоизменение вкладышей в процессе работы двигателя, влияние на них давления масла и в целом несоответствие реальных режимов работы шатунных подшипников положениям гидродинамической теории. Это подтверждает описанный ранее механизм проворачивания шатунных вкладышей [1-3, 5].

Значительная часть двигателей (до 30%) поступает в капитальный ремонт из-за проворачивания вкладышей, особенно шатунных. В настоящее время этот отказ в большинстве случаев считают внезапным, однако он имеет определенную закономерность развития.

В процессе эксплуатации двигателя закономерно изменяется напряженно-деформированное состояние вкладышей коленчатого вала, что вызывает увеличение их прогиба по образующей по экспоненциальной зависимости от наработки  $l$  [3, 5]

$$\Delta = \Delta_0 \cdot e^{b \cdot l}, \quad (1)$$

где  $\Delta_0$  – прогиб в конце приработки;  $b$  – коэффициент.

Предельная величина прогиба шатунных вкладышей составляет 48 мкм и наступает при наработке в среднем 220-240 тыс. км в условиях третьей категории эксплуатации автомобилей [5].

На интенсивность изменения геометрической формы вкладышей в процессе эксплуатации влияют как конструктивно-технологические параметры (выступление, распрямление вкладышей, расположение, размеры и количество отверстий для смазки в коленчатом вале, диаметр отверстий для смазки в коренных вкладышах и ширина смазочной канавки в верхнем коренном вкладыше), так и изменения давления в системе смазки.

Установлено, что в процессе эксплуатации давление в системе смазки на конкретном скоростном и тепловом режиме экспоненциально снижается [5]

$$P = P_0 \cdot e^{-bp}, \quad (2)$$

где  $P_0$  – давление в системе смазки в конце приработки;  $bp$  – коэффициент.

Аналогично снижается и толщина масляного слоя [5,6]

$$h = h_0 \cdot e^{-b_1 l}, \quad (3)$$

где  $h_0$  – толщина масляного слоя в конце приработки;  $b_1$  – коэффициент.

Это существенно изменяет условия смазки подшипников и вызывает разрыв потока масла к шатунным подшипникам и способствует интенсификации развития деформаций шатунных вкладышей и возникновению проворачивания.

Для надежной работы шатунных подшипников двигателя (без возможного масляного голодания) необходимо повысить давление в системе смазки. Давление в системе должно обеспечивать работу шатунных подшипников коленчатого вала на любых режимах с достаточным количеством масла с целью недопущения деформаций вкладыша.

С этой целью осуществлено увеличение производительности масляного насоса за счет внедрения нового масляного насоса с 86 до 150 л/мин.

Для снижения неравномерности распределения расхода масла по шатунным подшипникам изменен баланс расхода по другим потребителям, в частности уменьшено сечение канала подвода масла к опорным шейкам распределительного вала на втулке. Увеличено проходное сечение на коренном вкладыше, аннулирована втулка центробежной очистки в шатунной полости, изменено поле допуска шатунной шейки в сторону увеличения с  $\varnothing 80_{-0,013}$  до  $\varnothing 80 \pm 0,0095$  мм, коренной шейки с  $\varnothing 95_{-0,015}$  до  $\varnothing 95 \pm 0,11$  мм с целью уменьшения зазора (проходного сечения) между вкладышем и шейкой.

Увеличение толщины стальной основы вкладыша делает его более жестким и устойчивым к деформациям, ремонтные вкладыши реже проворачиваются.

Для уменьшения образования прогиба вкладыша в поперечном сечении в эксплуатации, вследствие температурного нагрева, был уменьшен натяг в сборе вкладышей за счет уменьшения величины выступания вкладыша под плоскостью разбега шатуна.

В дальнейшем необходимо провести работы не только по снижению величины деформаций шатунных вкладышей, но и полного ее исключения за счет конструктивных мероприятий по увеличению жесткости вкладыша, или их креплению к телу шатуна на основе разработанной физической модели вкладыша.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов А.С. Анализ причин эксплуатационных разрушений шатунных вкладышей двигателей КамАЗ / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков // Двигателестроение. 1981. № 9. С. 37-40.

2. Денисов А.С. Изменение напряженного состояния и геометрической формы шатунных вкладышей в процессе работы дизельного двигателя / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков, А.Ю. Шарапин // Повышение эффективности использования автомобильного транспорта: межвуз. науч. сб. / Саратов. политехн. ин-т. Саратов, 1984. С. 14-19.

3. Денисов А.С. Анализ этапов процесса проворачивания вкладышей коленчатого вала / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков // Повышение технической готовности автомобильного транспорта: межвуз. науч. сб. / Саратов. политехн. ин-т. Саратов, 1985. С. 14-18.

4. Денисов А.С. Изменение условий смазки шатунных подшипников в процессе эксплуатации автомобильного дизеля / А.С. Денисов, А.Т. Кулаков // Двигателестроение. 1986. № 4. С. 44-46.

5. Денисов А.С. Основы формирования эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей / А.С. Денисов. Саратов: СГТУ, 1999. С. 352.

6. Денисов А.С. Анализ методов диагностирования шатунных подшипников ДВС и обоснование диагностической оценки их технического состояния / А.С. Денисов, И.К. Данилов // Двигателестроение. 2004. № 3. С. 41-45.

7. Денисов А.С. Влияние условий смазки на толщину масляного слоя в шатунных подшипниках дизельного двигателя / А.С. Денисов, И.К. Данилов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2004. № 4. С. 23-26.

8. Обеспечение работоспособности подшипников коленчатого вала автомобильных дизелей / Б.С. Антропов, Е.П. Слабов, А.А. Крайнов, С.Г. Шкорин // Двигателестроение. 2004. № 3. С. 29-32.

9. Бычков В.Г. Причины необратимых формоизменений тонкостенных вкладышей и пути повышения надежности подшипников высоконагруженных дизелей / В.Г. Бычков, М.А. Салтыков, М.Н. Горбунов // Двигателестроение. 1980. № 6. С. 34-37.

**Кулаков Александр Тихонович** –  
кандидат технических наук,  
директор Технического центра «Агромашхолдинг», г. Москва

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

**А.А. Павлов, М.В. Виноградов**

**ТОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ПАРКА  
ПРЕЦИЗИОННЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

*Проводится анализ прецизионных токарных и фрезерных станков различных производителей по основным параметрам. Основной акцент сделан на точностных параметрах. Вводятся понятия измерительной, вычислительной и исполнительной точности.*

**A.A. Pavlov, M.V. Vinogradov**

**PARAMETERS OF ACCURACY OF DOMESTIC AND FOREIGN PARK  
OF PRECISION METAL-CUTTING MACHINES**

*The analysis of precision turning and milling machines of different manufacturers by main parameters are carried out in this article. The basic accent is made on parameters of accuracy. Concepts of measuring, computing and executive accuracy are introduced here.*

С прогрессом техники все острее возникает необходимость точной обработки металла. Появляется задача развития производства не только в сторону большей автоматизации и выполнения все более сложных операций, но и в сторону улучшения качества работ. Причем эта задача не имеет окончательного решения – ведь всегда можно сделать еще точнее, еще надежнее. Сегодня перед промышленностью поставлен новый рубеж – освоение нанометровой точности обработки детали [1-3].

На сегодняшний день изготовлением металлорежущих станков во всем мире занимается более 2,5 тысяч фирм, из них более 300 в России. Все эти станки различаются по размеру обрабатываемой детали, по точности обработки, по степени автоматизации. Станки сверхвысокой точности – так называемые прецизионные станки – производят 200 фирм [4,5] по всему миру и менее 10 в России, среди которых Специальное конструкторское бюро «Модуль» (г. Самара), Рязанский станкостроительный завод, Самарский станкозавод.

Попытка анализа и сопоставления точностных показателей станков различных производителей сталкивается со следующей проблемой. Различные фирмы могут представлять различные показатели и называть их точностью. И если в России эти показатели нормированы ГОСТ 4.93-83, зарубежные производители следуют нормативным документам своих стран. Так, точность позиционирования инструмента немецкая фирма KNUTH называет стабильностью повторяемости (repeatability). Некоторые же производители (например, крупная французская фирма Schaublin), указывая тип станка – прецизионный или ультрапрецизионный, – вообще не предоставляют точностные показатели в доступных в сети Интернет материалах [7-9].

Металлорежущий станок можно рассматривать как систему управления, имеющую датчики, вычислительные устройства и исполнительные органы. Ввиду несовершенства каждой из этих частей, возникают некоторые погрешности обработки, и каждая из них имеет свои точностные показатели. Назовем их точностью измерительной, вычислительной и исполнительной соответственно.

Измерительная точность зависит от параметров применяемых в системе типов датчиков. Данный вид точности можно повысить, применяя более совершенные измерительные устройства. Современная техника предлагает целый ряд датчиков различной природы и конструкции, точность измерения которых колеблется от долей миллиметра до нанометров.

Бурное развитие микропроцессорных ЭВМ дает современной промышленности возможность использования контроллеров с достаточно высокими показателями точности и быстродействия. Использование современных микропроцессоров позволяет в реальном времени просчитывать огромные массивы данных практически любой разрядности, благодаря чему вычислительная точность гораздо выше других видов точности.

Исполнительная точность – это точность обработки детали, которую может обеспечить исполнительная часть станка, т.е. погрешность обработки детали. Она зависит от параметров узлов, применяемых в исполнительной части станка, таких, как двигатель, редуктор. Здесь могут сильно сказываться люфт (особенно в реверсивных приводах), скольжение, износ, потери на трение. Именно к исполнительной точности относится показатель «точность позиционирования» (ГОСТ 4.93-83).

В табл. 1 и 2 приведены показатели точности некоторых металлорежущих станков различных производителей. Были взяты наиболее совершенные модели фирм-производителей. Среди точностных показателей, предложенных производителем, были выбраны показатели, соответствующие исполнительной точности. В таблицу также вынесены основные характеристики станков – максимальный размер обрабатываемой детали и частота вращения шпинделя.

Таблица 1

Основные показатели токарных станков

Модель	Производитель	Максимальный диаметр обрабатываемой детали, мм	Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	Исполнительная точность, мм
NANO TURN	Mazak	90	15000	0,0002
140R-CNC	Schaublin	150	6000	0,001
16Б16АВ	«Станкозавод»	180	2000	0,002
UP-1	Mazak	179	3000	0,002
ТПАРМ	ОАО «Тантал»	100	3150	0,0025
M200ВФ3	СКБ «Модуль»	320	6000	0,004
16Б16П	«Станкозавод»	180	2000	0,005
DL CNC 500	Knuth	300	2200	0,008
M200ПФ3	СКБ «Модуль»	320	6000	0,010
LZ 360 S	GDW	195	3000	0,012

Таблица 2

Основные показатели фрезерных станков

Модель	Производитель	Макс. размер обрабатываемой детали, мм	Частота вращения шпинделя, мин <sup>-1</sup>	Исполнительная точность, мм
HT-3A	MITSUI SEIKI	500	–	0,001
3U12RA	VINGRIAI	200	900	0,002
MA3	TSUGAMI	250	–	0,002
VECTOR 610 CNC	Knuth	410	8000	0,003
VTC-20 CB	MAZAK	510	–	0,005
ОРША Ф32Ш	ПКФ Спецстанок	180	2000	0,012

Для более детального сравнения в табл. 3 приведены показатели токарных станков с одинаковой исполнительной точностью, равной 2 мкм.

Также следует отметить, что все прецизионные станки имеют весьма значительную цену. Так, токарный станок DL CNC 500 фирмы Knuth имеет стоимость 1 350 000 руб., а модель DL CNC 1900 с большим размером обрабатываемой детали – 5 400 000 руб. Фрезерный станок ОРША Ф32Ш российской фирмы ПКФ «Спецстанок» имеет стоимость 1 165 000 руб. Это объясняется тем, что для достижения заданной точности промышленность использует новейшие технологические наукоемкие разработки. Например, в токарном модуле ТПАРМ применяются азростатические направляющие, удерживающие суппорт с инструментом на расстоянии в несколько микрометров от направляющих.

Таблица 3

Сравнение токарных станков 16Б16АВ, UP-1 и ТПАРМ-100

Технические характеристики	16Б16АВ	UP-1	ТПАРМ-100
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над суппортом, мм	180	179	100
Длина обрабатываемого изделия, мм	750	400	100
Управление скоростями шпинделя	бесступенчатое	бесступенчатое	бесступенчатое
Пределы чисел оборотов шпинделя, мин <sup>-1</sup>	5-2000	50-3000	160-3150
Постоянство диаметра в сечении, мм	0,002	0,002	0,0025
Погрешность обработки контура, мм	0,004	0,002	0,005
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	5,5	5	1,8
Габариты (ширина × высота), мм:	2270×1110	2400×1350	1800×2000
Вес станка, кг	2050	2500	1800

Уровень качества металлорежущего станка часто определяется требованиями к точности обработанных на нем деталей, под которой понимают точность размеров, формы и взаимного расположения обработанных поверхностей, их волнистость и шероховатость. Резкое увеличение сложности станков за счет оснащения их микропроцессорными системами управления с большим количеством датчиков, необходимости учета разнообразных стационарных и нестационарных силовых, тепловых и виброакустических воздействий, роста номенклатуры и сменяемости изделий для удовлетворения потребностей рынка требует обеспечения их технологической надежности. Станок может быть представлен иерархической структурой из совокупности подсистем различного уровня, объединенных единой целью – обработка деталей с заданной точностью. Каждая подсистема, выполняя собственную задачу, обеспечит достижение поставленной цели.

В составе формообразующей подсистемы станка можно выделить привод главного движения, приводы подачи, подсистему режущего инструмента, направляющие, несущие элементы конструкции. При расчетах характеристик функциональных подсистем станков используются различные математические модели. Наиболее традиционным направлением обеспечения точности и надежности станков является совершенствование их конструкции путем применения новых технических решений и элементной базы.

Связь параметров детали, вектор которых обозначим  $\bar{Y}(t)$ , с совокупностью входных, внешних и внутренних показателей можно представить в виде функционала

$$\bar{Y}(t) = \bar{Y}\{\bar{Z}(t), \bar{R}(t), \bar{T}(t), \bar{V}(t)\}, \quad (1)$$

где  $\bar{Z}(t)$  – вектор показателей заготовки, описывающий ее физико-механические свойства и геометрические размеры;  $\bar{R}(t)$  – вектор показателей режимов резания;  $\bar{T}(t)$  – вектор показателей технологической системы;  $\bar{V}(t)$  – вектор возмущающих воздействий.

В каждом конкретном случае имеется свой набор показателей, причем среди них целесообразно выделить доминирующие и в дальнейшем рассматривать только их влияние. Все показатели могут быть переменными и иметь детерминированную и стохастическую составляющие, что затрудняет строгий анализ характера их влияния на точностные показатели детали и усложняет процесс управления формообразованием.

Введение глубокой отрицательной обратной связи по положению значительно повышает точность позиционирования рабочих органов станков, однако, как показали исследования, особенности механических передач иногда сводят на нет возможности таких высокоточных датчиков обратной связи, как лазерный интерферометр.

На всех этапах жизненного цикла станка весьма существенным является анализ влияния скорости процессов на его технологическую надежность, что позволяет выбрать наилучшие решения по обеспечению точности в зависимости от построенной модели. Роль медленных процессов (износ базовых узлов, коррозия и т.п.) снижается, например, за счет совершенствования конструкции. Процесс средней скорости (износ режущего инструмента, тепловые деформации), компенсируется вводом корректирующих воздействий. Роль быстропротекающих процессов (вибраций) снижается совершенствованием конструкции и оптимизацией режимов резания. Учитывая, что прецизионные автоматизированные станки представляют собой сложную машину с разнообразными взаимодействиями его элементов, только проведение специальных испытаний позволяет указать наиболее эффективный путь повышения качества станков.

Исследование динамики приводов как исполнительных устройств автоматизированных металлорежущих станков представляется неотъемлемым этапом проектирования, поскольку к ним предъявляются жесткие требования по обеспечению высокого качества формообразующих перемещений. Нестабильность заданного закона выходного перемещения может быть обусловлена такими факторами, как кинематическая погрешность, зазор или самоторможение в передаче, пульсации управляющего момента, колебания нагрузки, высокая виброактивность привода. Моделирование динамики и анализ полученных динамических характеристик можно проводить средствами Mathcad, как наиболее удобного инструмента решения систем дифференциальных уравнений. В результате анализа динамики приводов автоматизированных металлорежущих станков с несколькими нелинейностями в механической цепи привода (сухое трение, люфт, самоторможение, нестабильность передаточной функции) должны быть определены режимы с потерей устойчивости и возбуждением автоколебаний, определены мероприятия по ликвидации автоколебаний: изменение параметров системы с целью ее вывода из автоколебательного режима; применение механических средств (устройства выборки зазора, смазка); синтез цифровых компенсирующих алгоритмов.

Результаты исследований показали, что для выполнения высокоточной обработки на прецизионных станках целесообразным является применение в приводах подачи фрикционных передач, которые позволяют в определенных условиях получить технические характеристики, недостижимые при использовании других типов передач. Использование рекомендаций [1] позволяет получить стабильные результаты по качеству обработки деталей с размерами 30...80 мм на уровне 1...3 квалитета за счет повышения точности позиционирования рабочих органов станка до 0,1...0,2 мкм.

Опыт эксплуатации приводов подачи прецизионных токарных модулей типа ТПАРМ с многоступенчатой фрикционной передачей (МФП), разработанных в ПО «Тантал», показал, что при их рациональной компоновке обеспечивается значительное упрощение кинематических цепей, высокий КПД, низкий уровень виброакустических колебаний, возможность реализации режима стружкодробления путем наложения возвратно-поступательных перемещений на формообразующие движения суппорта. Однако в процессе эксплуатации приводов с МФП был выявлен ряд факторов, которые приводили к снижению их параметрической надежности. Теоретические исследования и практический опыт обусловили необходимость системного подхода к анализу параметрической надежности привода подачи, что позволило,

в соответствии с концептуальными положениями, связать на междисциплинарном уровне физические процессы в контактах фрикционных пар, вопросы долговечности МФП, особенности силового взаимодействия роликов, динамические и точностные характеристики привода, а также вопросы его настройки, диагностирования и обслуживания [2].

Основная зависимость, определяющая работоспособность МФП, имеет вид:

$$P_n k_{mp} = \beta_c F_\tau \cdot \quad (2)$$

где  $P_n$  – сила прижатия роликов;  $k_{mp}$  – коэффициент трения;  $\beta_c$  – запас сцепления (для силовых передач  $\beta_c = 1.2 \dots 2.0$ , для приборных  $\beta_c = 2.0 \dots 3.0$ );  $F_\tau$  – передаваемая окружная сила. Из формулы (2) следует, что сила  $P_n$  значительно превышает  $F_\tau$ . Для роликов МФП используются закаленные стали твердостью HRC 60 (шероховатость поверхности  $Ra = 0,32 \dots 1,25$  мкм), например, ШХ-4, ШХ-15, 18ХГТ, 18ХВН, 65Г и другие [3]. Исследования показали, что периодические структурные преобразования поверхностных слоев взаимодействующих роликов в процессе работы, наряду с попаданием на них пыли, влаги, масла, вызывают колебания значений  $k_{mp}$ . При этом меняются не только тяговые свойства МФП, но и параметрическая надежность привода подачи.

Опыт эксплуатации прецизионных токарных модулей типа ТПАРМ показал их высокую разрешающую способность в режиме позиционирования (до десятых долей мкм), реализацию контурной обработки, нарезание резьбы без кинематических связей суппортов и режим стружкодробления за счет возвратно-поступательных движений суппорта.

На сегодняшний день промышленность только подходит к промышленному освоению нанометрового рубежа, и требуются дальнейшие исследования в данном направлении. Перед научной общественностью стоит задача разработки таких технических решений, которые позволят обойти проблемы, возникающие на пути дальнейшего увеличения исполнительной точности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков. Ч. 3 / А.А. Игнатьев, М.В. Виноградов, В.А. Добряков и др. Саратов: СГТУ, 1999. 124 с.
2. Виноградов М.В. Пути повышения точности обработки на прецизионных автоматизированных станках / М.В. Виноградов // Актуальные проблемы электронного приборостроения и машиностроения: сб. науч. ст. VI Междунар. науч.-техн. конф. Саратов: СГТУ, 2002. С. 123-126.
3. Виноградов М.В. Повышение точности формообразующих перемещений при прецизионной обработке на автоматизированных металлорежущих станках / М.В. Виноградов // Исследования станков и инструментов для обработки сложных и точных поверхностей: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2002. С. 29-34.
4. <http://www.expo-center.ru/>
5. <http://www.kellysearch.com/>
6. <http://www.knuth.de/>
7. <http://www.mazak.com/>
8. <http://www.skpm.ru/>
9. <http://www.schaublin-russia.ru/>
10. <http://www.vingriai.lt/>

**Павлов Алексей Александрович** –

аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

**Виноградов Михаил Владимирович** –

кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета



А.Л. Плотников, Е.Г. Крылов

### ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СБОРНОГО МНОГОЛЕЗВИЙНОГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

*Проанализированы причины недостаточной надежности сборного многолезвийного твердосплавного инструмента на фрезерных станках с ЧПУ; предложена методика назначения режимов обработки на фрезерных станках с ЧПУ на основе оперативной оценки свойств инструментальных и обрабатываемых материалов; приведено описание скорректированной математической зависимости для определения допустимой скорости фрезерования на основе измерения величины термоЭДС контактируемой пары.*

A.L. Plotnikov, E.G. Krylov

### EVALUATION OF SERVICEABILITY ASSEMBLED MULTIEDGED HARD ALLOY CUTTING TOOL ON MILLING MACHINES WITH NUMERICAL CONTROL

*In this article the reasons of ineffective reliability of assembled multiedged hard alloy cutting tool on milling machines with numerical control were analyzed; the technique of mode cutting purpose on milling machines with numerical control on the base of operative property evaluation of instrumental and machining materials was suggested; the description of corrected mathematical relationship for determining of approved rate of milling on the base of magnitude of engagement pair thermo-emf determination was also offered.*

Основной технологической величиной, влияющей на надежность и производительность процесса резания, его качественные характеристики, является скорость резания. В настоящее время расчет скорости резания для фрезерных станков с ЧПУ ведется по методике, разработанной применительно к универсальным станкам.

Допустимая скорость резания при фрезеровании стальных заготовок твердосплавным инструментом определяется по формуле [1]:

$$V_d = \frac{C_V \cdot D_\phi^{q_V}}{T^m \cdot t^{x_V} \cdot S_z^{y_V} \cdot z^{n_V} \cdot B^{z_V}} \cdot K_u \cdot K_m \cdot K_p \cdot K_{rc} \cdot K_n, \quad \text{м/мин}, \quad (1)$$

где  $C_V$  – коэффициент, определяющий некоторые постоянные условия резания;  $D_\phi$  – диаметр фрезы, мм;  $T$  – стойкость фрезы, мин;  $t$  – глубина фрезерования, мм;  $B$  – ширина фрезерования, мм;  $z$  – число зубьев фрезы;  $S_z$  – ширина фрезерования, мм;  $q_V, m, x_V, y_V, n_V, z_V$  – показатели степени при диаметре фрезы  $D_\phi$ , стойкости  $T$ , глубине фрезерования  $t$ , подаче на зуб  $S_z$ , числе зубьев  $z$  и ширине фрезерования  $B$  соответственно;  $K_u$  – поправочный коэффициент на марку твердого сплава;  $K_m$  – поправочный коэффициент на прочностные свойства обрабатываемой стали;  $K_p$  – поправочный коэффициент на величину угла  $\phi$  режущего зуба (пластинки);  $K_{rc}$  – поправочный коэффициент, учитывающий жесткость системы (для станков с автоматической сменой инструмента  $K_{rc}=0,85$ ; без автоматической смены инструмента  $K_{rc}=0,9$ );

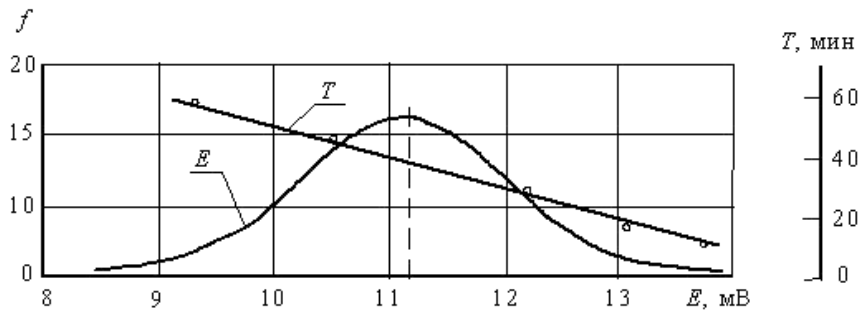
Отформатировано: Автор, По левому краю, Отступ: Первая строка: 0 см, Междустр.интервал: одинарный

Отформатировано: Заголовок статьи, По левому краю, Междустр.интервал: одинарный

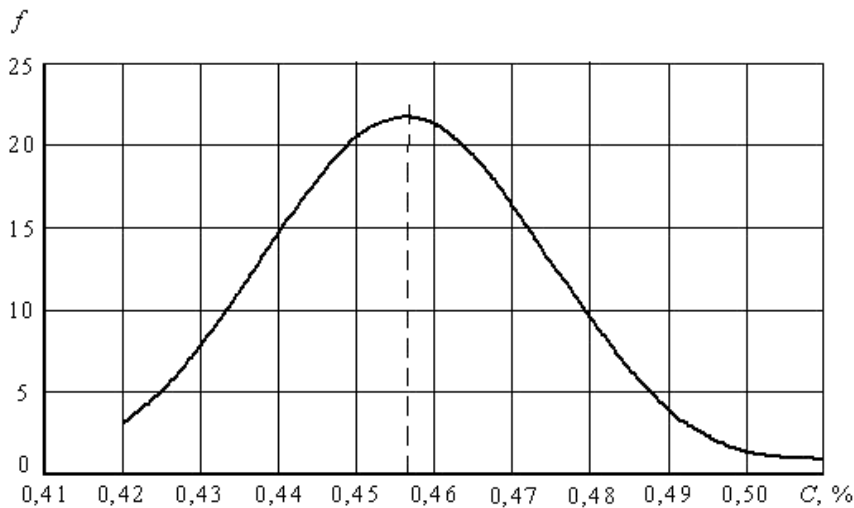
$K_n$  – поправочный коэффициент на состояние поверхности заготовки (прокат без корки, с коркой, отливка и т.п.).

Недостатком данного математического выражения (1) при определении допустимой скорости фрезерования (при заданной стойкости  $T$ , глубине фрезерования  $t$ , подаче на зуб  $S_z$  и постоянных геометрических параметрах торцевой фрезы) является то, что в нем априорно принимается постоянство режущих свойств твердосплавных пластин в комплекте фрезы и одинаковость физико-механических и химических свойств партии поставки стальных заготовок.

На рисунке представлены данные о разбросе термоэлектрических свойств и стойкости твердосплавных режущих пластин марки Т15К6 (ГОСТ 19044-80, 01114,  $\varnothing 15,875$  мм) при обработке стали 40Х2НМА на режимах резания  $V=120$  м/мин,  $S=0,4$  мм/об,  $t=1$  мм и данные о распределении содержания углерода в 85 промышленных партиях поставки стали 45. В качестве оценочной характеристики режущих свойств твердосплавных пластин использована величина термоЭДС пробного прохода [2].



Разброс термоэлектрических свойств и стойкости партии твердосплавных пластин марки Т15К6



Распределение содержания углерода в партиях поставки стали 45

Разброс термоэлектрических свойств и стойкости твердосплавных пластин марки Т15К6 и распределение содержания углерода в партиях поставки стали 45

Как видно из рисунка, при назначении допустимой скорости фрезерования по формуле (1) не учитываются все возможные сочетания свойств стальных заготовок и режущих свойств твердосплавных пластин. Коэффициенты  $C_V$ ,  $K_u$ ,  $K_m$  в формуле (1) взяты как постоянное осредненное значение из диапазона свойств твердосплавных пластин и свойств стальных заготовок внутри их марочных составов. На практике разброс режущих свойств твердосплавных пластин и обрабатываемости сталей может привести к различным вариантам сочетаний контактируемых материалов: высокой стойкости инструмента и ухудшенной обрабатываемости заготовки и наоборот.

Для фрезерных станков с ЧПУ неоднородность режущих свойств твердосплавных пластин снижает надежность процесса резания и приводит к вынужденным простоям для замены изношенного раньше времени инструмента, которые составляют более 50% от времени всех простоев автоматизированного оборудования [3].

Первопричина преждевременного износа многолезвийного инструмента заключается в отказе его отдельных режущих кромок. Собранные в случайной последовательности в одном комплекте твердосплавные пластины с различными режущими свойствами имеют при постоянных режимах резания различную интенсивность износа. Пластины с содержанием свободного графита (высокое значение термоЭДС) уже в период приработки имеют большой размерный износ. Объем металла, снимаемый этими пластинками, уменьшается с каждым оборотом фрезы, в то время как остальные зубья испытывают увеличенные силовые и температурные нагрузки, что в итоге приводит к увеличенному износу, а иногда и сколу. Совокупную стойкость фрезы в этом случае определяет пластина (группа пластин) с пониженными режущими свойствами.

Колебание процентного содержания элементов внутри марочного состава стали приводит к двукратному изменению прочности и теплопроводности, которые с точки зрения обрабатываемости являются интегральными показателями, определяющими контактные нагрузки на режущее лезвие инструмента, интенсивность тепловыделения и износа инструмента в задаваемый период его надежной работы.

В этой связи для обеспечения надежной и производительной работы фрезерных станков с ЧПУ в автоматическом режиме предлагается использование скорректированной математической модели выбора скорости резания, которая дает возможность оперативного учета изменяющихся условий резания.

Для учёта неоднородности свойств инструментального и обрабатываемого материалов разработан метод автоматизированного определения допустимой скорости резания на основе измерения термоЭДС пробного прохода на строго фиксированных режимах обработки ( $V=100$  м/мин,  $S=0,1$  мм/об,  $t=1$  мм [4]).

$$V_d = \frac{(625 - 24,7E) \cdot D_{\phi}^{q_v}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_z^{y_v} \cdot B^{z_v} \cdot E^{0,24}}, \text{ м/мин}, \quad (2)$$

где  $E$  – максимальная величина термоЭДС твердосплавной режущей кромки из набора фрезы, выявленная аппаратным способом в условиях пробного прохода фрезы по стальной заготовке при полной ширине симметричного фрезерования, мВ.

Отличительной особенностью формулы (2) является то, что в ней оперативно учитываются сочетание свойств режущего инструмента и обрабатываемость стальных заготовок по термоЭДС пробного прохода как переменная функция  $C=(625-24,7E)$ . Метод автоматизированного выбора допустимой скорости резания при фрезеровании рассчитан на диалоговую форму подготовки режимной части управляющей программы и наличие в системе ЧПУ специального блока или внешней ЭВМ, реализующих алгоритм определения скорости резания. Диалог осуществляется оператором на основе данных технологического процесса и ручного ввода параметров фрезерной обработки.

Для оценки правильности выбранных режимов резания и полноты использования ресурса инструмента может служить коэффициент неравномерности стойкости режущих зубьев фрезы  $K_T$ . В отличие от коэффициента неравномерности по фаскам износа [4], который можно определить только после снятия фрезы со станка, коэффициент неравномерности стойкости определяется до начала обработки (в условиях пробного прохода путём обратного пересчёта стойкости пластин) как отношение максимальной стойкости твердосплавной пластины  $T_{\max}$  к минимальной  $T_{\min}$  по формуле (3):

$$K_T = \frac{T_{\max}}{T_{\min}} . \quad (3)$$

Численное значение коэффициента, лежащее в интервале  $1,0 \leq K_T \leq 1,5$ , может считаться приемлемым для удовлетворительной оценки условий работы фрезы.

Метод автоматизированного определения допустимой скорости резания на основе измерения термоЭДС зоны резания может быть использован в работе фрезерных станков с диалоговыми системами ЧПУ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.
2. Патент № 2063307 Россия, С1 В 23 В 25/06. Способ определения допустимой скорости резания при механической обработке детали твердосплавным инструментом / А.Л. Плотников. № 94010673/08; Заявлено 29.03.1994; Опубл. Бюл. № 19, 1996.
3. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В.К. Старков. М.: Машиностроение, 1989. 296 с.
4. Патент № 2203778 Россия, С1 В 23 В 25/06. Способ контроля состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов / А.Л. Плотников, А.А. Василенко. № 2001106305/02; Заявлено 05.03.2001; Опубл. Бюл. № 13, 2003.

**Плотников Александр Леонтьевич** –  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов»  
Волгоградского государственного технического университета

**Крылов Евгений Геннадьевич** –  
аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов»  
Волгоградского государственного технического университета

## **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 678.7:620.2.621

**С.Н. Барабанов, А.А. Есин, Ю.В. Серянов**

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ОКСИД-ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА «ПИГМА П-201»**

*В результате проведенной НИОКР удалось оптимизировать технологическую цепочку получения композиционного оксид-полимерного покрытия на основе порошка «Пигма П-201», обладающего антикоррозионными и декоративными свойствами. Разработан соответствующий комплект специального оборудования, внедренный на ряде предприятий РФ.*

**S.N. Barabanov, A.A. Yesin, J.V. Serjanov**

### **OXIDE-POLYMERIC COVERING COMPOSITE RECEPTION OPTIMIZATION TECHNOLOGY ON THE BASIS OF A POWDER «PIGMA P-201»**

*As a result of the R. and D. it was possible to optimize a technological chain of reception of a composite oxide-polymeric covering on the basis of a powder «Pigma P-201», which possesses of the anticorrosive and decorative properties. The corresponding complete set of the special equipment introduced at a number of the enterprises of the Russian Federation is developed.*

Окраска металлических изделий с целью противокоррозионной защиты и придания им декоративных свойств весьма часто проблематична из-за большой разницы в физико-химических свойствах металлов и окрашивающих пленок, приводящей к отслаиванию защитного покрытия. Особенно это характерно для шлифованных и полированных металлических поверхностей, на которых сила когезии пленок может превышать силу адгезии к металлу, поэтому для надежного окрашивания в процессе предварительной подготовки металлической поверхности создают промежуточный адгезивный слой методами химического или анодного оксидирования, фосфатирования и т.п.

Как обычные способы окраски с применением различных растворителей и лаков, так и обычные методы предварительной подготовки поверхности металлов с использованием растворов кислот и солей небезопасны с противопожарной и экологической точек зрения. Мы предлагаем нетрадиционную технологию окрашивания металлических поверхностей, основанную на сочетании паротермического оксидирования и электростатического напыления сухих порошков полимерных красок с их последующей термомонолитизацией. В резуль-

тате получают композиционные оксид-полимерные покрытия с высокими антикоррозионными свойствами, хорошей адгезией, износоустойчивостью при широком спектре варьирования цветовой гаммы.

В этой технологии расходуются электроэнергия, водяной пар и порошки сухих полимерных красок, которые легко регенерируются с возможностью повторного использования, так что реализуется экологически чистый и пожаробезопасный процесс.

Комплект оборудования для паротермического оксидирования, электростатического окрашивания и термической монолитизации выпускается ООО «СОВТЕХ-Декор» (г. Энгельс).

Механизм паротермического оксидирования (ПТО) основан на высокотемпературной полупроводниковой коррозии железа и его сплавов с электронно-дырочной проводимостью возникающих магнетитных и вюститных пленок, кислородной деполяризацией и ионной миграцией. При температурах 450-550°C получают сравнительно тонкие магнетитные пленки с собственной коррозионной устойчивостью, которая оценивается скоростью коррозии в 3%-ном NaCl порядка 0,55 мм/год, а при 600-700°C – более толстые вюститные пленки с пониженной пористостью и скоростью коррозии 0,46 мм/год (Ст. 3).

Краска «Пигма П-201» (ТУ 2312-427-05034239-93) предназначена для сухого окрашивания поверхности металлических изделий машиностроительной и электротехнической промышленности, металлических конструкций и товаров народного потребления. Обладает высокими физико-механическими и декоративными свойствами получаемых из нее полимерных покрытий. Насыпная плотность 0,5-0,7 кг/дм<sup>3</sup>, расход при электростатическом распылении 100 г/м<sup>2</sup>, толщина покрытия после термомонолитизации 60-80 мкм.

В результате проведенных нами экспериментальных исследований удалось выяснить оптимальные режимы получения композиционных оксидно-полимерных покрытий на конструкционной стали Ст. 3 с применением порошковой краски «Пигма».

#### Паротермическое обезжиривание

Оптимальная температура, °С .....	300
Оптимальное время, мин.....	30
Остаточное загрязнение, %.....	< 5%

#### Паротермическое оксидирование

Оптимальная температура, °С .....	650-700
Оптимальное время, мин.....	60-90
Толщина оксидного покрытия, мкм .....	10-20
Пористость, см <sup>-2</sup> .....	5-10

#### Паротермическое охлаждение

Оптимальная скорость, К/мин .....	3
Оптимальное время, мин.....	60-90
Степень вюститного распада, %.....	15-25

#### Электростатическое напыление

Оптимальное напряжение, кВ.....	42
Оптимальное давление воздуха, МПа .....	0,3
Оптимальная дистанция, мм .....	250
Оптимальное время, с .....	30-40
Толщина некоронирующего слоя, мкм .....	500-700
Время удержания, ч.....	5-8

## Термическая монолитизация

Оптимальная температура, °С .....	180
Оптимальное время, мин.....	15
Толщина монолитной пленки, мкм .....	60-80

Комплект универсального оборудования для экологически чистого получения композиционных оксидно-полимерных покрытий изготавливается ООО «СОВТЕХ-Декор» по согласованию с заказчиком и он включает следующие основные составляющие.

## Установка ПТО

Размер рабочей зоны, мм .....	1000×1200×2500
Температура, °С.....	до 900
Средняя мощность в рабочем режиме, кВт.....	30
Масса, кг .....	700

Камера нанесения порошкового покрытия в электростатическом поле с системой рекуперации

Габариты, мм .....	2500×1200×2000
Напряжение, кВ .....	60
Сила тока, мкА .....	50
Масса, кг .....	300

## Распылитель электростатический

Скорость окрашивания, м <sup>2</sup> /мин .....	до 2,5
Напряжение, кВ .....	до 60
Рабочий ток, мкА .....	до 50
Ток к. з., мкА .....	< 7
Масса, кг .....	< 0,5

## Печь полимеризации

Рабочие размеры, мм.....	1800×2500×2000
Рабочая мощность, кВт .....	24
Максимальная температура, °С .....	250
Средняя потребляемая мощность, кВт .....	12
Мощность вентилятора, кВт .....	0,4
Масса, кг .....	1100

Комплект оборудования и технология получения композиционных оксидно-полимерных защитно-декоративных покрытий внедрен на ряде предприятий различных отраслей народного хозяйства России.

**Барабанов Сергей Николаевич** –

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

**Есин Александр Александрович** –

аспирант кафедры «Химия»  
Саратовского государственного технического университета

**Серянов Юрий Владимирович** –

доктор химических наук,  
профессор кафедры «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки»  
Саратовского государственного технического университета

**В.В. Вольнский**

**СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОДОВ  
НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

*Существующая распространенность и прогнозируемая востребованность в щелочных никель-кадмиевых аккумуляторах (НКА) промышленного и бытового назначения подталкивает производителей этих источников тока к поиску экономически эффективных и экологически безопасных способов их утилизации. Практика показывает, что одним из путей решения подобных проблем является переработка компонентов активных масс щелочных НКА с целью их повторного использования. В статье приведен комплекс технических решений, который прошел апробацию в производственных условиях ОАО «Завод АИТ» и позволяет использовать отработанные НКА в качестве вторичного сырья для изготовления соответствующих активных масс, с минимальным ущербом для экологии окружающей среды.*

**V.V. Volinsky**

**WAYS OF ELECTRODES PROCESSING  
OF NICKEL-CADMIUM STORAGE BATTERIES**

*Nickel-cadmium storage batteries are now widely used (and are likely to be more so) in industrial production and everyday life. That makes their manufacturers seek new economically effective and ecologically safe means of their utilisation. Experience shows that one of the ways would be to process active material components of alkaline nickel-cadmium batteries to re-use them later. The article discusses all-round technical methods that have passed the industrial testing at the Autonomous Power Sources Plant. These methods make it possible to use worked-out batteries as a secondary raw material for the production of active material while causing minimal damage to the environment.*

**Введение**

Лавинообразное развитие портативной техники наиболее остро обозначило вопросы экологии, связанные с накоплением вторичных источников тока и их последующей переработкой. В странах ЕС (Европейского Сообщества) уже в 1994 году были полностью сформулированы и законодательно закреплены директивы по утилизации аккумуляторных батарей [1]. Это позволило взять под контроль реализацию, сбор и утилизацию источников тока, в состав которых входят токсичные элементы (Hg, Cd, Ni, Pb). К сожалению, в России подобная законодательная база отсутствует, отсутствует и технологический регламент, обеспечивающий эффективное извлечение из отработанных аккумуляторов ценного вторичного сырья. Однако, наблюдаемый в последнее время рост объемов производства источников тока по ряду направлений (в основном для Министерства путей сообщения) в сочетании с практически полной ликвидацией в начале 90-х годов сырьевой базы заставляет производителей аккумуляторных батарей пересматривать свое отношение к сложившейся ситуации.



Ввиду особой специфики технического оснащения отечественной промышленности и транспортной инфраструктуры одними из наиболее распространенных источников тока остаются щелочные НКА с ламельными электродами. В связи с этим актуальной является проблема переработки ламельных оксидно-никелевых и кадмиевых электродов для повторного использования дорогостоящих и экологически опасных материалов.

Цель данных исследований состояла в разработке эффективного метода утилизации ламельных электродов путем получения из вторичного сырья – гидроксида никеля ( $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ) из оксидно-никелевых электродов (ОНЭ) и металлического кадмия из кадмиевых электродов.

### Переработка ламельных оксидно-никелевых электродов

Ламельный ОНЭ состоит из стальной перфорированной оболочки и заключенной в нее анодной массы [2]. В качестве основного компонента анодной массы используют  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ . Получение  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  проводят путем осаждения из раствора соли никеля раствором щелочи, фильтрации, сушки, отмывки, повторной сушки и размола [3]. Осаждение  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  возможно из растворов различных никельсодержащих солей. В качестве сырья могут быть использованы хлориды, нитраты и сульфаты никеля [4]. Однако природа исходной соли никеля оказывает влияние на свойства  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  и предъявляет особые требования к оборудованию и технологии производства  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ . Так, например, согласно [4], самый низкий коэффициент использования никеля имеют анодные массы,  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  которых получен из хлорида никеля. Осаждение  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  из нитрата никеля позволяет изготавливать анодные массы с высоким коэффициентом использования никеля, но целый ряд технологических операций (осаждение, фильтрация, сушка и отмывка  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ) сопровождаются выделением в воздух рабочей зоны аммиака. Это отрицательно сказывается на экологической обстановке внутри производственных помещений и требует разработки специального оборудования. Не обладая вышеуказанными недостатками, технология получения  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  из сульфата никеля является наиболее приемлемой [4, 5].

Основным сырьем для изготовления сульфата никеля является порошок металлического никеля, который растворяют в разбавленной серной кислоте, содержащей некоторое количество азотной кислоты [5]. Этот способ позволяет получать раствор сульфата никеля без дополнительной очистки. Отсутствие примесей в исходных растворах является одним из факторов, обеспечивающих высокий коэффициент использования никеля в составе анодной массы щелочных аккумуляторов с ОНЭ. К недостаткам способа можно отнести необходимость применения дорогостоящего порошка металлического никеля. Высокая стоимость этого материала заставляет производителей щелочных аккумуляторов с ОНЭ заниматься разработкой способов применения альтернативных вариантов никельсодержащего сырья.

Известен способ, по которому ламельные ОНЭ отработанных щелочных аккумуляторов дробят и измельчают до металлического порошка с размером частиц не более 2,5 мм [6]. Полученную смесь используют в качестве сырья для изготовления сульфата никеля путем ее выщелачивания в кислой среде до содержания ионов  $\text{Ni}^{2+}$  в растворе 60-100 г/л, после чего очищают раствор от примесей железа, магния, кальция. Согласно [6], очистку раствора сульфата никеля от ионов  $\text{Fe}^{2+}$  проводят, используя  $\text{Ni}^{3+}$  в качестве окислителя при добавлении щелочи при  $\text{pH}=3-5$ . От примесей щелочно-земельных металлов кальция и магния раствор очищают с помощью фторид-ионов. В качестве источника фторид-ионов используют плавиковую кислоту или соль  $\text{NaF}$ . Коэффициент использования никеля в анодной массе из  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ , полученного по способу [6], составляет 65% при удельной емкости анодной массы (после второго цикла) 0,123 А·ч/г.

Недостаток способа состоит в том, что сульфат никеля для последующего приготовления  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  получают путем одновременного растворения в серной кислоте всех составляющих отработанного ламельного ОНЭ. Предварительное отделение металлической компоненты методом магнитной сепарации в этом случае не достаточно эффективно [6] и вызы-

вает необходимость проведения очистки раствора сульфата никеля от примесей железа, магния, кальция. Применяемые для очистки агрессивные содержащие фторид-ион реагенты способствуют быстрому выводу из строя оборудования и коммуникаций, а также отрицательно влияют на экологию окружающей среды (содержание фторид-ионов в воде хозяйственного назначения не должно превышать 0,7-1,5 мг/л [7]). В целом известному способу характерны высокие трудовые и материальные затраты и низкое качество  $Ni(OH)_2$ .

В работах [8, 9] была предпринята попытка достичь повышения эффективности использования никеля при производстве щелочных аккумуляторов с ламельными ОНЭ и одновременно с этим добиться сокращения выбросов токсичных элементов в окружающую среду. Для обеспечения высокой электрохимической активности  $Ni(OH)_2$  и сокращения технологических потерь никельсодержащего сырья необходимо добиться эффективного отделения металлической составляющей от анодной массы физико-механическим способом без перехода примесей в раствор сульфата никеля. Это позволит исключить химическую очистку раствора, полученного из отработанных электродов, и реализовать переработку дефектных электродов, забракованных на стадии изготовления, с целью повторного использования извлекаемой анодной массы.

Указанный технический результат достигался тем, что отработанные ламельные ОНЭ подвергали деформации при давлении 19-45 Н/мм<sup>2</sup> в течение 0,5-1 секунды, затем извлекали анодную массу и выщелачивали раствором серной кислоты концентрацией 200-300 г/л до содержания ионов Ni 65-110 г/л при температуре 60-80°С до pH=3,5-5. Полученный раствор сульфата никеля использовали для осаждения  $Ni(OH)_2$ . Химический состав отфильтрованного раствора сульфата никеля приведен в табл. 1.

Таблица 1

Данные химического анализа раствора сернокислого никеля

Элемент	Ni	Fe	Mg	Ca	Cu	Co	Zn	Pb
Концентрация, г/л	72	0.0035	0.11	0.05	0.004	0.92	0.012	0.011

Применение способа [9] при соблюдении рекомендуемых параметров позволяет обеспечить эффективное извлечение анодной массы и упростить отделение металлической составляющей известными физико-механическими способами (просев и магнитная сепарация). Содержание Fe/Ni в извлекаемой анодной массе составило ≤0,4%, максимальный размер частиц лимитировал размер ячейки используемого сита 1,4-1,6 мм. При использовании раствора  $NiSO_4$  без дополнительной химической очистки изготовлен  $Ni(OH)_2$ , полностью соответствующий требованиям ТУ 48-3-63-90 и технологической документации (ТД) ОАО «Завод АИТ» (табл. 2).

Таблица 2

Данные химического анализа  $Ni(OH)_2$

Требования ТД	Фактические данные
Ni, не менее 58,5%	60,5%
Влага, в пределах 0,5-5,4%	0,8%
Cu/Ni, не более 0,015%	0,003%
Mg/Ni, не более 0,15%	0,14%
Fe/Ni, не более 0,12%	0,02%
Механические примеси – отсутствие	отсутствуют

Коэффициент использования никеля в анодной массе из  $Ni(OH)_2$ , полученного по данному способу, составил 85-98% при удельной емкости анодной массы (после второго цикла) 0,167-

0,187 А·ч/г. При нарушении режимов в сторону уменьшения времени и давления деформации, необходимого раскрытия ламельной перфорированной оболочки для извлечения анодной массы, не происходило. Превышение вышеуказанных параметров приводило к измельчению металлической составляющей до размеров частиц, которые невозможно отделить при помощи сита и магнитного сепаратора. Применение для выщелачивания высококонцентрированных растворов серной кислоты обусловлено отсутствием в извлекаемой анодной массе растворимых в кислоте примесей и позволяло получать более насыщенные растворы сульфата никеля. Это способствовало увеличению выхода готового продукта -  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ .

Предлагаемый способ основан на эффективном отделении металлической составляющей ламельных ОНЭ от анодной массы без перехода примесей в раствор. Следствием является: снижение затрат на дополнительную очистку раствора сульфата никеля от примесей железа, магния, кальция; отказ от применения агрессивных содержащих фторид-ион реагентов. Возможность переработки дефектных ламельных ОНЭ, забракованных на стадии изготовления по причине нарушения целостности стальной перфорированной оболочки, сокращает технологические потери дорогостоящей анодной массы.

### Переработка кадмиевых электродов

Основным компонентом активной массы для кадмиевого электрода является  $\text{CdO}$ , которую получают возгонкой и окислением  $\text{Cd}_{\text{мет}}$  в печи сжигания кадмия при температуре 700-800°C [10, 11]. После проведения операции смешивания  $\text{CdO}$  с активирующими добавками содержание  $\text{Cd}$  (II) в активной массе кадмиевых электродов колеблется в пределах от 40 до 70 % и зависит от рецептуры приготовления активных масс [10, 11]. Применяемый в процессе получения  $\text{CdO}$  металлический кадмий должен соответствовать требованиям ГОСТ 1467-93, предъявляемым к кадмию марки Кд0. Стоимость  $\text{Cd}_{\text{мет}}$  определяется стоимостью исходного кадмийсодержащего сырья и способом получения  $\text{Cd}_{\text{мет}}$  из этого сырья. Высокое процентное содержание  $\text{Cd}$  (II) в активной массе кадмиевых электродов позволяет сделать заключение об экономической целесообразности их переработки по окончании срока службы щелочных НКА. А поскольку одновременно с этим сокращается вероятность попадания токсичных соединений кадмия в окружающую среду, становится очевидным и позитивный экологический аспект данного технического решения.

В металлургии известны способы переработки отработанных электродов НКА, которые не обеспечивают возможности повторного использования никель- и кадмийсодержащего сырья для изготовления компонентов активных масс [12, 13]. Например, согласно [13], отработанные электроды щелочных никелево-железных (кадмиевых) аккумуляторов подвергаются плавке при температуре 1450-1575°C с получением никеля в виде сплава с железом. Недостатком этого способа является невозможность разделения кадмия и никеля, так как при вышеуказанных температурах кадмий возгоняется, окисляется и уносится с отходящими газами в атмосферу, загрязняя окружающую среду.

Согласно способу [1], отработанные щелочные НКА подвергаются дроблению с целью получения измельченной массы следующего гранулометрического состава: частицы размером менее 2,8 мм – 36% от общей массы, магнитные частицы размером более 2,8 мм – 46% от общей массы, немагнитные частицы размером более 2,8 мм – более 19% от общей массы. Затем магнитные и немагнитные частицы размером более 2,8 мм промывают 20%-м раствором соляной кислоты. Оставшаяся после проведения этой операции магнитная часть твердых отходов в виде железно-никелевого порошка реализуется на металлургические комбинаты для переплавки, а немагнитная часть сжигается. Раствор соляной кислоты, уже содержащий ионы железа, кадмия и никеля, используют для их дальнейшего выщелачивания из частиц размером менее 2,8 мм. Выщелачивание происходит при температуре 90°C. Далее экстракцией трибутилфосфатом с последующей его возгонкой получают раствор хлорида кадмия.

$Cd_{мет}$  из раствора хлорида кадмия извлекают электрохимическим способом и потом используют для получения  $CdO$ . К очевидным недостаткам этого способа переработки кадмиевых электродов щелочного НКА можно отнести необходимость использования большого количества жидких экологически опасных реагентов: раствор соляной кислоты, трибутилфосфат. Экстрагируемый продукт, раствор хлорида кадмия и образующиеся жидкие отходы после электрохимического восстановления  $Cd_{мет}$ , хлорсодержащие растворы также относятся к разряду токсичных соединений. Высокая трудоемкость и энергоемкость процесса снижают экономическую эффективность переработки в целом, а затраты на реализацию данного способа переработки кадмиевых электродов окупаются только за счет извлечения дорогостоящего никеля.

С целью повышения экономической и экологической эффективности извлечения  $Cd_{мет}$  из активной массы кадмиевых электродов отработанных щелочных НКА, снижения выбросов в окружающую среду экологически опасных материалов, сокращения трудоемкости и энергоемкости процесса была изготовлена лабораторная установка для дистилляции  $Cd_{мет}$ , принципиальная схема которой представлена на рис. 1. В основу ее работы положен пирометаллургический способ, заключающийся в смешении отходов с восстановителем и последующим нагревом смеси (шихты) в электропечи без доступа воздуха [14].

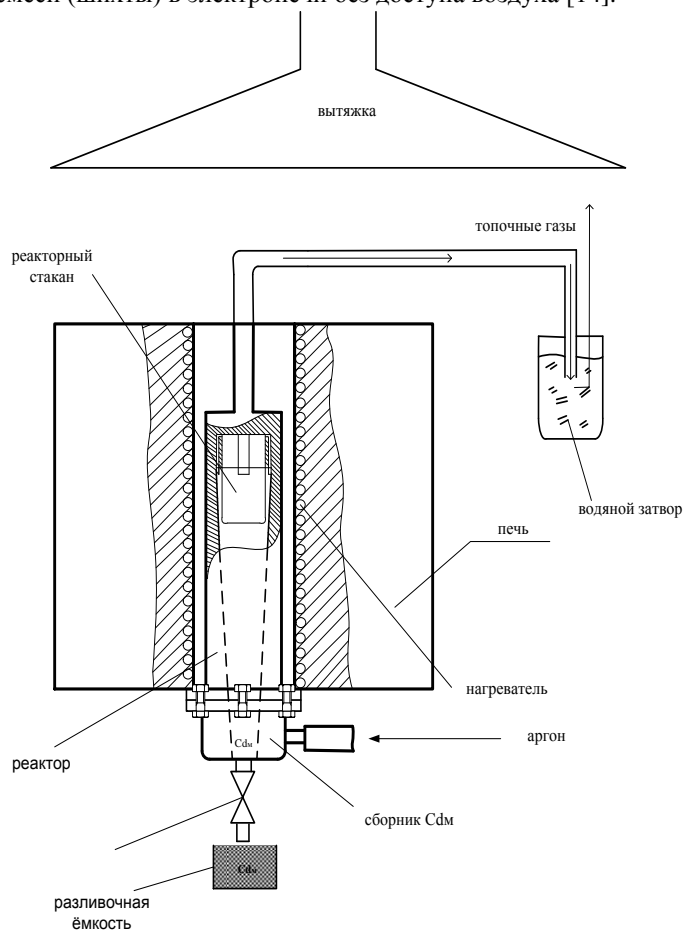


Рис. 1. Схема установки восстановления кадмийсодержащих отходов

Для проведения экспериментов использовали шихту, содержащую 71,2% кадмия. Экспериментальным путем были установлены компонентный состав шихты и оптимальные условия протекания процесса дистилляции. Критерием оценки качества протекания процесса служили такие параметры, как скорость восстановления и коэффициент выхода кадмия металлического. Было установлено, что данные параметры существенно зависят от количества шихты, находящейся в зоне реакции. Как показано на рис. 2, скорость восстановления прямо пропорциональна количеству шихты в рабочей зоне, а коэффициент выхода металлического кадмия, напротив, имеет обратную зависимость (рис. 3).

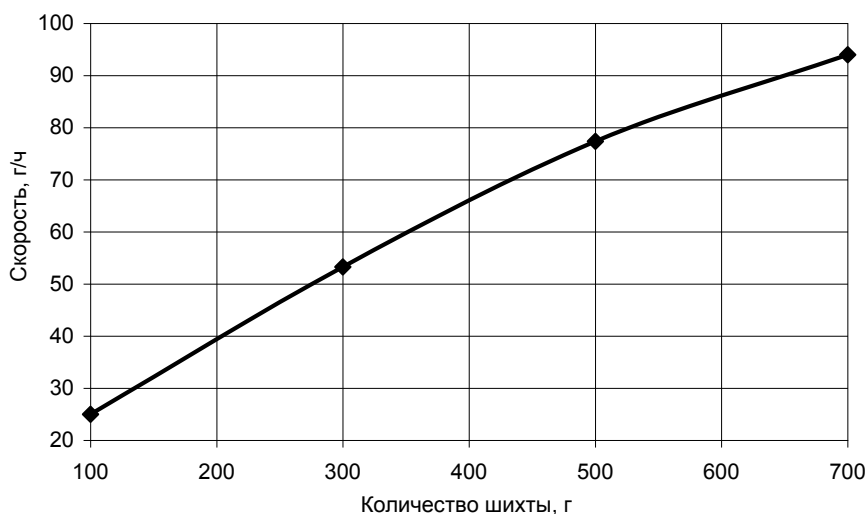


Рис. 2. Зависимость скорости извлечения металлического кадмия от количества шихты в зоне реакции

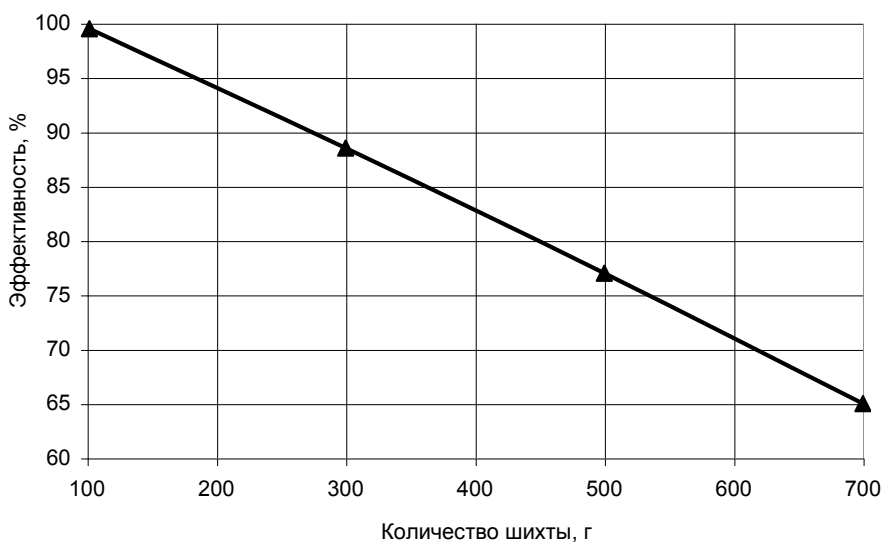


Рис. 3. Зависимость эффективности извлечения металлического кадмия от количества шихты в зоне реакции

Данные химического анализа шихты после первой и повторной дистилляции представлены в табл. 3. Высокое остаточное содержание кадмия в шихте после первой дистилляции свидетельствует о неполном его извлечении. Однако повторное осуществление процесса позволяет практически полностью извлечь металлический кадмий из шихты. Поскольку дистилляции подвергаются активные массы, в составе которых присутствует добавка никеля, в ходе термообработки происходит обогащение шихты этим элементом.

Таблица 3

Химический состав кадмийсодержащей шихты после проведения дистилляции

Дистилляция	Cd <sub>общ</sub>	Ni <sub>общ</sub>	Fe <sub>общ</sub>
Первичная	25	5.2	0.4
Вторичная	0.06	58.4	0.3

В дальнейшем с учетом результатов исследований была спроектирована и изготовлена промышленная печь для переработки кадмийсодержащих отходов ручейкового типа (рис. 4).



Рис. 4. Фото печи дистилляции кадмийсодержащих отходов

Согласно разработанному технологическому регламенту для осуществления процесса дистилляции Cd<sub>мет</sub> кадмийсодержащие отходы просеивали, отделяли от металлической составляющей и смешивали с углеродом марки П324 ГОСТ 7885-86 в соотношении 0,020-0,200 кг углерода на 1 кг содержащегося в активной массе Cd (II). Полученную смесь в непрерывном режиме порциями загружали в камеру нагрева печи и выдерживали при температуре 650-1100°C без доступа кислорода, при этом периодичность загрузки для каждой порции определялась с учетом времени ее пребывания при заданной температуре в течение 5-15 часов. Восстановленный углеродом Cd<sub>мет</sub> испарялся, конденсировался на холодных поверхностях камеры конденсации электрической печи и стекал в воду, образуя частицы каплевидной формы. Производительность печи в среднем составляла около 95 кг Cd<sub>мет</sub> в сутки и колебалась в зависимости от типа используемых отходов в интервале 70-120 кг в сутки. По содержанию примесей полученный из кадмийсодержащих отходов Cd<sub>мет</sub> полностью соответствовал требованиям ГОСТ 1467-93, предъявляемым к кадмию марки Кд0 (см. табл. 4). Газо-

образные продукты реакции, смесь оксида и диоксида углерода проходили через водяной затвор и попадали в окружающую среду без дополнительной очистки. В дальнейшем  $Cd_{мет}$  возгоняли в печи сжигания кадмия и окисляли кислородом воздуха до  $CdO$ . Полученную  $CdO$  смешивали с активирующими добавками и использовали для изготовления кадмиевых электродов НКА. Остатки углерода с содержащимся в нем кадмием в количестве от 25 до 0,06% накапливали и применяли для приготовления последующих порций смеси углерода с активной массой кадмиевых электродов отработанных НКА.

Таблица 4

Содержание примесей в  $Cd_{мет}$ , полученном из кадмийсодержащих отходов

Содержание примесей, %						
Fe	Pb	Cu	Ni	Zn	Tl	Mn
0.0004	0.001	0.001	<0.001	0.001	<0.002	–

Предлагаемый способ позволяет использовать кадмиевые электроды отработанных щелочных НКА в качестве вторичного сырья для приготовления  $CdO$  без применения токсичных реагентов, при отсутствии промышленных стоков и экологически опасных воздушных выбросов.

### Заключение

Реализованный в работе комплексный подход по решению проблемы утилизации НКА, бывших в употреблении, обеспечивает высокую эффективность извлечения дорогостоящих материалов (Ni и Cd) без ущерба для экологии окружающей среды с целью их повторного использования. Однако при рассмотрении технических вопросов необходимо учитывать, что процесс утилизации продукции начинается с ее потребителя и отсутствие соответствующей законодательной базы осложняет задачу по сбору продукции, снижая коммерческую привлекательность таких проектов. В связи с этим предлагаемые способы переработки НКА сегодня применимы только к производственным отходам, образующимся на предприятиях, для предотвращения их накопления и снижения себестоимости изделий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. J. van Erkel C.L. Hydrometallurgical process for the treatment of used nickel-cadmium batteries / C.L. J. van Erkel, B.A. van Deelen, A.J. Kamphuis // Report on Conference. Geneva, Switzerland, September 1994. P. 133-139.
2. Варыпаев В.Н. Химические источники тока / В.Н. Варыпаев, М.А. Дасоян, В.А. Никольский. М.: Высшая школа, 1990. С. 207-211.
3. Дасоян М.А. Производство электрических аккумуляторов / М.А. Дасоян, В.В. Новодержкин, Ф.Ф. Томашевский. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1970. С. 294-301.
4. Скалозубов М.Ф. Активные массы электрических аккумуляторов / М.Ф. Скалозубов. Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1962. 116 с.
5. А.с. 588580 СССР, МКИ<sup>2</sup> Н 01 М 4/32. Способ изготовления активной массы окисно-никелевого электрода щелочного аккумулятора / В.М. Розовский, В.Н. Леонов, В.В. Солнцева (СССР). № 2004381/24-07; заявл. 11.03.74; опубл. 15.01.1978. Бюл. № 2. 2 с.
6. Заявка № 2178931 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Н 01 М 4/26, 4/52. Способ изготовления гидрата закиси никеля для аккумуляторной промышленности / И.Р. Геллерштейн, М.В. Клементьев, Б.Э. Затицкий (Россия); заявитель Компания Сезар. № 2000127932/09; заявл. 08.11.00; опубл. 27.01.02.
7. ГН 2.1.5. 689-98. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водоемов. М.: Минздрав России, 1998. 96 с.

8. Заявка № 2264000 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Н 01 М 4/26, 4/32. Способ получения гидрата закиси никеля для анодной массы никель-кадмиевого аккумулятора / А.В. Лопашев, Н.Е. Семенов, В.В. Волынский (Россия); заявитель Завод автономных источников тока. № 2004102023/09; заявл. 22.01.04; опубл. 10.07.05.

9. Заявка № 2264000 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Н 01 М 4/26, Н 01 М 4/32. Способ получения гидрата закиси никеля для щелочных аккумуляторов / А.В. Лопашев, Н.Е. Семенов, В.В. Волынский (Россия); заявитель Завод автономных источников тока. № 2004125312/09; заявл. 18.08.04; опубл. 10.11.05.

10. Дасоян М.А. Производство электрических аккумуляторов / М.А. Дасоян, В.В. Новодережкин, Ф.Ф. Томашевский. М.: Высшая школа, 1965. 280 с.

11. Дасоян М.А. Химические источники тока / М.А. Дасоян. Л.: Энергия, 1969. 274 с.

12. А.с. СССР 711137, МКИ<sup>2</sup> С 22 В 7/00. Способ переработки отработанных железоникелевых аккумуляторов на товарный ферроникель / М.Р. Русаков (СССР). № 3035225/25-09; заявл. 06.09.75; опубл. 12.12.77. Бюл. № 3. 3 с.

13. А.с. СССР 539087, МКИ<sup>2</sup> С 22 В 23/02. Способ переработки отработанных пластин никелево-железных (кадмиевых) аккумуляторов / В.Я. Кошкаров (СССР). № 2955296/25-06; заявл. 30.01.74; опубл. 15.12.76. Бюл. № 12. 3 с.

14. Чижиков Д.М. Кадмий / Д.М. Чижиков. М.: Наука, 1967. 242 с.

**Волынский Вячеслав Виталиевич –**

кандидат технических наук, заместитель главного технолога  
ОАО «Завод автономных источников тока», г. Саратов

УДК 681.3(075)

**Т.В. Данилова**

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ФОТОСЛОЯХ**

*Для исследования искажений фотоизображений была создана модель формирования изображения на фотослое. Входными данными модели являются параметры фотослоя, а также форма и размеры экспонируемой области. Изображение, получаемое при моделировании, характеризуется распределением оптической плотности. В работе проводится сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными с последующей корректировкой параметров модели. Исследуется возможность аппроксимации результатов моделирования простыми аналитическими функциями.*

**T.V. Danilova**

**THEORETIC AND EXPERIMENTAL STUDY  
OF PHOTOGRAPHIC IMAGE FORMATION**

*This paper deals with the estimation of image formation at photographic materials model. Our model allows obtaining the optical density distribution of modeling im-*



*age as function of photo emulsion layer characteristics, size and shape of exposed area. Comparison of modeling image results and experimental data allows correcting this imagery model and approximated results of modeling by simple analytic functions.*

### Введение

Для исследования влияния параметров фотослоев на характер и степень искаженности получаемых фотоизображений была создана модель, описывающая процесс формирования изображения на фотоматериале. Указанная модель достаточно полно соответствует известным экспериментальным зависимостям [1], описанным в литературе. Однако, в связи с множественностью факторов, способствующих возникновению искажений в фотоизображениях [2, 3, 4], для дальнейшего уточнения параметров модели было проведено математическое сопоставление результатов моделирования с экспериментальными данными.

### Краткое описание модели

В модели процесса формирования изображения на фотоматериалах можно выделить несколько основных частей. Это входные данные: модель фотографируемого объекта и модель регистрирующего фотоэмульсионного слоя, модель непосредственно формирования изображения фотослоем и результат моделирования – модель фотоизображения (рис. 1).

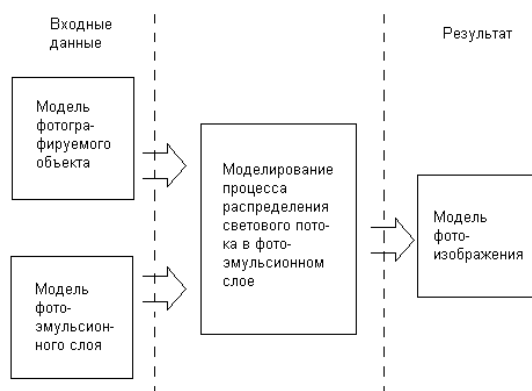


Рис. 1. Схема модели формирования изображения на фотоматериалах

Модель фотографируемого объекта определяется размером и формой экспонируемой области, соответствующей проецируемому на поверхность фотослоя оптическому изображению. Параметры фотослоя [2, 3]: толщина слоя, средний размер и характер пространственного распределения в фотоэмульсионном слое светочувствительных микрокристаллов (зерен). Результаты моделирования (модель фотоизображения) представляются в виде распределения оптической плотности.

Процесс формирования изображения в фотослоях моделируется посредством вычисления распределения экспонирующего светового потока между содержащимися в фотослое светочувствительными микрокристаллами (зернами). При моделировании учитывается переизлучение светового потока между зернами фотослоя. Для вычислений используется теория Ми [5, 6].

### Сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных

Для сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными был выбран тестовый объект, шириной 0,5 мм. Фотография тестового объекта была получена контактным способом. Исследовалось распределение оптических плотностей фотографии объекта, модели

объекта и модели изображения объекта, соответствующих одному и тому же участку. На рис. 2 приведены: а) исследуемый фрагмент фотографии тестового объекта, увеличенный в несколько раз, б) распределение оптической плотности этого фрагмента в направлении, перпендикулярном границе объекта, в) распределение оптической плотности модели тестового объекта, г) распределение оптической плотности модели изображения. В машинном представлении оптическая плотность точки фотоизображения соответствует яркости точки цифрового изображения, поэтому все распределения оптической плотности нормированы на 255 (максимально возможную, в однобайтном представлении, яркость точки изображения).

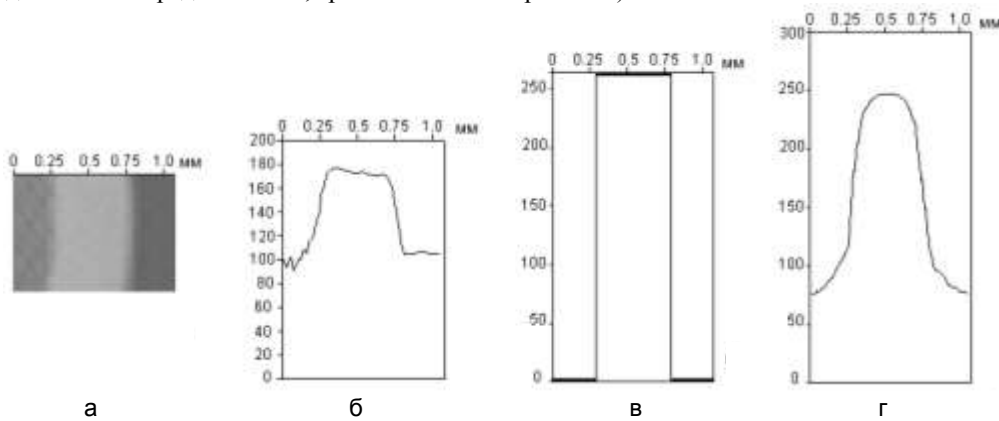


Рис. 2. Сравнение экспериментальных данных и результатов моделирования

При сравнении распределений оптической плотности фотографии и модели изображения заметно, что фотография имеет большую контрастность и меньшую яркость, чем модель фотоизображения (рис. 2, б и 2, г соответственно). В связи с этим было сделано предположение, что максимальная и минимальная интенсивности оптического излучения, воспринимаемые глазом или видеосенсором, ограничены некоторым порогом. Кроме того, согласно известным экспериментальным данным [1, 2, 3], чувствительность фотоматериалов также ограничена некоторой величиной. Для реализации этого эффекта в модель формирования изображения были внесены дополнительные ограничения. Величина оптической плотности каждой точки модели изображения может быть не больше и не меньше некоторых заданных величин. Все значения, выходящие за границу допустимого диапазона, приравниваются к пороговым значениям. На рис. 3 показаны распределения оптической плотности модели изображения, полученные при различных значениях допустимого диапазона яркости.

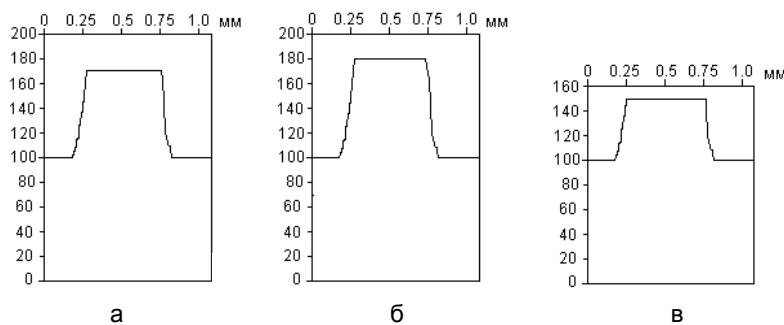


Рис. 3. Модель изображения тестового объекта, полученная при ограничении максимально возможной яркости изображения

Распределение оптической плотности, показанное на рис. 3, а, получено при возможном диапазоне яркости 100-175, рис. 3, б соответствует диапазону 100-180, для рис. 3, в допустимый диапазон 100-150. Таким образом, введение в модель формирования изображения дополнительного параметра позволяет регулировать яркость и контрастность модели изображения.

**Оценка соответствия модели изображения тестовому объекту**

Оценка соответствия модели изображения тестовому объекту определялась как средняя квадратичная разность яркостей соответствующих точек распределения оптической плотности тестового объекта и модели изображения.

$$Q = \frac{\sum_{x=0}^{N-1} (D_{\text{тест.}}(x) - D_{\text{мод.}}(x))^2}{N}, \tag{1}$$

где  $N$  – количество точек;  $D_{\text{тест.}}(x)$  – яркость фотографии тестового объекта в точке  $x$ ;  $D_{\text{мод.}}(x)$  – яркость модели изображения в точке  $x$ .

Минимальное значение  $Q$  соответствует максимально возможному соответствию модели изображения тестовому объекту. В табл. 1 приведены значения  $Q$  для моделей изображений, показанных на рис. 2, г и 3, а, б, в. Величина оценки  $Q$  нормирована.

Таблица 1

Оценка соответствия модели изображения экспериментальным данным

№ рисунка, на котором показана модель изображения	Значение оценки соответствия модели изображения экспериментальным данным $Q$
Рис. 1, г	0,032565680
Рис. 3, а	0,015646546
Рис. 3, б	0,016569525
Рис. 3, в	0,019365116

Из табл. 1 видно, что наиболее точно соответствует экспериментальным данным модель изображения, полученная при допустимом диапазоне яркости 100-175.

**Аппроксимация модели изображения простыми аналитическими функциями**

Результаты моделирования процесса формирования изображения достаточно хорошо согласуются с данными эксперимента, поэтому данная модель может быть использована для прогнозирования искажений изображения, в зависимости от параметров фотоматериала. Однако, моделирование процесса получения изображения на фотоматериалах требует больших временных и технических ресурсов. Для уменьшения затрат, связанных с моделированием, была сделана попытка обобщения полученных результатов. Для этого распределения оптических плотностей, полученные при моделировании, аппроксимировали простыми аналитическими функциями.

Для аппроксимации были выбраны следующие функции:

$$f(x) = \exp\left(-\frac{x^2}{a}\right), \tag{2}$$

$$f(x) = \frac{\sin^2(bx)}{(bx)^2}. \tag{3}$$

Аппроксимируемые наборы данных были нормированы. Вычисление коэффициентов  $a$  и  $b$  для функций (2) и (3) проводилось автоматически. Оценка точности аппроксимации  $Q$  вычислялась как среднее квадратичное отклонение значений аппроксимируемого набора данных от значения аппроксимирующей функции в соответствующей точке

$$Q = \frac{\sum_{x=0}^{N-1} (D(x) - f(x))^2}{N}, \quad (4)$$

где  $N$  – количество точек аппроксимируемого набора данных;  $D(x)$  – значение аппроксимируемого набора данных в точке  $x$ ;  $f(x)$  – значение аппроксимирующей функции в точке  $x$ .

В табл. 2 приведены результаты аппроксимации модели изображения, представленной на рис. 2, г. Значения  $Q_{\text{exp}}$  и  $Q_{\text{sin}}$  являются оценками точности аппроксимации функциями (2) и (3) соответственно.

Таблица 2

Результаты аппроксимации модели изображения

$a$	$Q_{\text{exp}}$	$b$	$Q_{\text{sin}}$
184	0.008051	8.95	0.007299

Приведенные в табл. 2 значения  $Q_{\text{exp}}$  и  $Q_{\text{sin}}$  показывают достаточно хорошее соответствие результатов аппроксимации модели изображения. Также были аппроксимированы модели изображений, полученные при различных наборах входных данных (рис. 1), и во всех случаях величина  $Q$  не превышала значения 0.01.

Приведенные результаты исследования модели формирования изображения на фотоматериалах позволяют заменить сложные вычисления, используемые при моделировании, простыми аналитическими решениями (2) и (3). Значения  $a$  и  $b$  функций (2) и (3), а также значение допустимого диапазона яркости изображения будут зависеть от характеристик фотоматериалов и могут быть определены экспериментально.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Прусс П.Х. Рассеяние света фотографическими слоями и их разрешающая способность / П.Х. Прусс // Материалы 2-й Всесоюз. школы по голографии. Л.: Изд-во ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР, 1971. С. 278-296.
2. Митчел Э. Фотография / Э. Митчелл; пер. с англ. М.: Мир, 1988. 420 с.
3. Картужанский А.Л. Химия и физика фотографических процессов / А.Л. Картужанский, Л.В. Красный-Адмони. Л.: Химия, 1983. 137 с.
4. Зернов В.А. Фотографическая сенситометрия / В.А. Зернов. М.: Искусство, 1980. 351 с.
5. Борен К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / К. Борен, Д. Хафмен. М.: Мир, 1986. 660 с.
6. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами / Д. Дейрменджан. М.: Мир, 1971. 168 с.

**Данилова Татьяна Владимировна** – ассистент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета

С.С. Попова, Е.В. Ченцова

### КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРОВЫДЕЛЕНИЯ ЦИНКА НА МЕДНОМ ЭЛЕКТРОДЕ

*Методами хроноамперометрии и хронопотенциометрии изучено катодное внедрение цинка из сульфатных и хлораммонийных растворов в медный дисковый электрод. Показано, что электровыделение Zn, как твердофазный процесс, зависит от состояния ионов цинка в растворе и от скорости их подачи в зону реакции. Образование сплава Zn-Cu протекает по механизму послойного наращивания осадка.*

S.S. Popova, E.V. Chenzova

### KINETIC REGULARITIES OF ZINC ELECTROALLOCATION ON COPPER ELECTRODE

*Zinc cathode introduction from sulphatic and chloride ammonia solutions in a copper disk electrode was investigated by chronoamperometry and chronopotentiometry methods. It is shown, that Zn electro allocation as solid phase process depends on a condition of zinc ions in a solution and speed of their submission in reaction zone. Formation of Zn-Cu alloy proceeds by the bidimensional mechanism by level-by-level escalating a deposit.*

Электроосаждение сплавов на катоде является одним из эффективных методов улучшения качества металлических изделий. Путем осаждения металлов в виде их сплавов можно получать покрытия с высокими антикоррозионными и декоративными свойствами, с высокими показателями твердости, сопротивления механическому износу, действию температуры и т. д. Среди методов получения сплавов на основе меди наибольшее распространение нашел процесс электролитического латунирования. Большую часть латунных покрытий в настоящее время наносят в декоративных целях [1-3].

До сих пор остаются неясными некоторые аспекты формирования структуры сплавов Zn-Cu. Целью настоящей работы было исследовать кинетику процесса образования сплава Zn-Cu по методу катодного внедрения и выявить взаимное влияние диффузионных процессов в твердой фазе и в приповерхностном слое раствора электролита с помощью метода вращающегося дискового электрода. Рабочим электродом служил медный дисковый электрод, вспомогательным – графитовый. Значения потенциалов приведены относительно стандартного хлорсеребряного электрода сравнения (0,223 В при 20°C). Электрохимические исследования проведены на потенциостате П-5848 в комплекте с самопишущим прибором ПДП-4. Скорость вращения ( $\omega$ ) диска варьировали в диапазоне от 11 до 36 об/с, что обеспечивало выполнение условия ламинарности течения раствора.

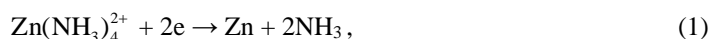
Осаждение цинка проводили в потенциостатическом режиме в области потенциалов от -1,1 до -1,5 В из раствора сульфата цинка концентрации 0,3 моль/л. Потенциостатические  $i, t$ -кривые показывают некоторое возрастание плотности тока во времени и при увеличении скорости вращения дискового электрода. Однако, при  $\omega \approx 25$  об/мин и выше ток практически перестает зависеть от скорости вращения дискового электрода. Построение зависимости

$i - \sqrt{\omega}$  показывает, что в этих координатах получается прямая линия, которая экстраполируется на ось  $i$ . По мере смещения потенциала в отрицательную сторону угол наклона прямых  $i - \sqrt{\omega}$  уменьшается. Таким образом, по мере смещения потенциала в отрицательную сторону все большую роль начинает играть кинетическая составляющая тока.

При введении в раствор  $ZnSO_4$  (0,3 моль/л) хлорида аммония  $NH_4Cl$  (4,6 моль/л) плотность тока на электроде в области потенциалов  $-1,05 \dots -1,25$  В возрастает в несколько раз. При этом усиливается влияние диффузионной составляющей скорости процесса. Все  $i, t$ -кривые проходят через минимум. При этом, если при  $E = -1,05$  В плотность тока на электроде уменьшается с увеличением  $\omega$ , а ширина минимума становится больше, то при  $E = -1,25$  В зависимость  $i$  от  $\omega$  меняется на обратную. В области  $E = -1,15 \dots -1,2$  В отмечается переходное состояние, но фиксируются наиболее высокие плотности тока и более быстрое возрастание величины  $i$  в области минимума.

Таким образом, можно говорить о том, что процесс электровыделения цинка на исследуемом электроде, как твердофазный процесс, зависит от состояния ионов цинка в растворе и от скорости их подачи в зону реакции.

По-видимому, при потенциалах  $-1,1 \dots -1,2$  В основным процессом является разряд ионов цинка:



а при  $E = -1,25$  В и ниже диффузия ионов  $Zn(NH_3)_4^{2+}$  из глубины раствора к поверхности электрода, скорость которой возрастает при увеличении скорости вращения электрода.

При потенциалах положительнее  $-1,1$  В, когда влияние скорости вращения электрода практически отсутствует, лимитирующим является процесс твердофазной диффузии – диффузии разряжающихся ионов в глубь металла электрода. Зависимость  $i - 1/\sqrt{t}$  на начальном этапе процесса имеет вид прямых линий, которые экстраполируются в начало координат.

Таким образом, на сформированном  $Zn(Cu)$  электроде, независимо от состава раствора и скорости вращения электрода, устанавливается равновесие:



и скорость реакции определяется диффузией атомов  $Zn$  в  $Cu$  матрице – электроде.

В трехкомпонентном электролите:  $ZnSO_4$  (0,3 моль/л),  $NH_4Cl$  (4,6 моль/л) и  $H_3BO_3$  (0,5 моль/л); при потенциалах отрицательнее  $-1,1$  В наблюдается зависимость скорости процесса от скорости вращения дискового электрода. Следовательно, процесс сплавообразования протекает с диффузионными ограничениями. Положительнее значения  $E = -1,1$  В зависимость  $i - \omega$  неоднозначна. Характер хода  $i, t$ -кривых на начальном этапе указывает, что процесс образования сплава протекает по механизму катодного внедрения (рис. 1).

Влияние концентрации  $ZnSO_4$  в трехкомпонентном электролите на ход потенциостатических  $i, t$ -кривых исследовалось в области концентраций 0,2-0,45 моль/л при потенциале  $-1,1$  В. Как на начальном этапе процесса, так и при выходе на стационарный режим  $i, t$ -кривые показывают отсутствие однозначной зависимости плотности тока от скорости вращения электрода. Это позволяет говорить о преобладающем влиянии процессов в твердой фазе на кинетику формирования осадка сплава  $Cu-Zn$  в заданных условиях.

Увеличение скорости вращения электрода облегчает подвод ионов  $Zn^{2+}$  в зону реакции и, следовательно, насыщение приповерхностного слоя раствора. Однако тот факт, что константа внедрения при этом в большинстве случаев уменьшается, указывает, что определяющим является процесс взаимодействия разряжающихся ионов цинка с поверхностными вакансиями и диффузии внедряющихся атомов в поверхностном слое.

Увеличение концентрации  $ZnSO_4$  сопровождается, при прочих равных условиях, увеличением плотности тока в минимуме  $i, t$ -кривых. Растет и величина константы внедрения  $k_B$ , которая рассчитывалась нами из зависимостей  $i - 1/\sqrt{t}$  по угловому коэффициенту наклона

$$k_B = \frac{\Delta i}{\Delta(1/\sqrt{t})} = \frac{z F C_{Zn}^0 \sqrt{D_{Zn}}}{\sqrt{\pi}}, \quad [1]$$

где  $z$  – число электронов, участвующих в реакции;  $F=96485$  – число Фарадея,  $A \cdot c \cdot \text{моль}^{-1}$ ;  $C_{Zn}^0$  – начальная концентрация цинковых дефектов,  $\text{моль} \cdot \text{см}^{-3}$ ;  $D_{Zn}$  – коэффициент диффузии цинка,  $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $\pi=3,14$  – константа.

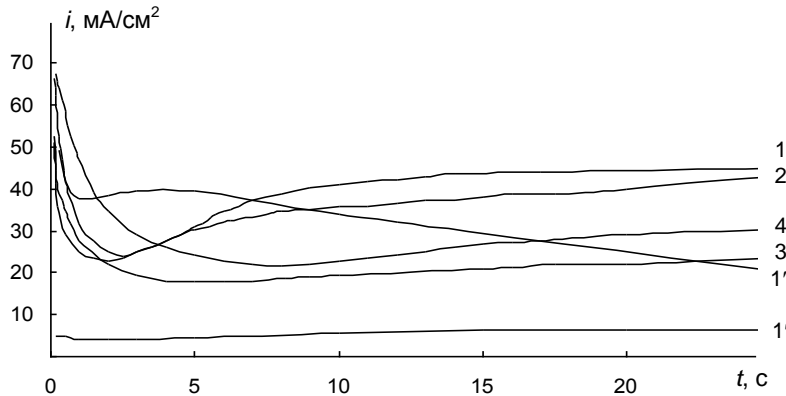


Рис. 1. Потенциостатические  $i, t$ -кривые электроосаждения Zn на Cu электрод из раствора  $ZnSO_4$  0,3 моль/л +  $NH_4Cl$  4,6 моль/л +  $H_3BO_3$  0,5 моль/л при потенциале  $-1,1$  В и скорости вращения, об/с: 1-11; 2-18; 3-25; 4-36 (1' – из раствора  $ZnSO_4$  0,3 моль/л при скорости вращения 11 об/с; 1'' – из раствора  $ZnSO_4$  0,3 моль/л +  $NH_4Cl$  4,6 моль/л при скорости вращения 11 об/с)

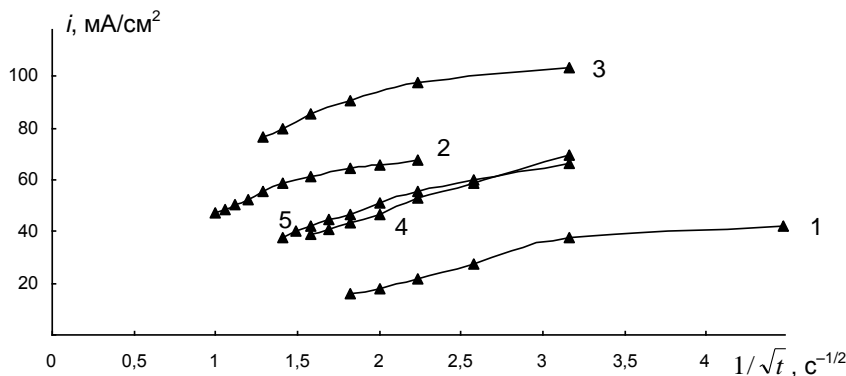


Рис. 2. Зависимость  $i-1/\sqrt{t}$  для вращающегося дискового Cu электрода при катодном внедрении Zn из раствора  $ZnSO_4$   $x$  моль/л +  $NH_4Cl$  4,6 моль/л +  $H_3BO_3$  0,5 моль/л, где  $x$ : 1-0,2; 2-0,25; 3-0,31; 4-0,35; 5-0,4; при скорости вращения электрода 36 об/с

Анализ начальных участков  $i, t$ -кривых в координатах  $i-1/\sqrt{t}$  позволил определить значение тока в момент замыкания цепи  $i(0)$ , когда определяющим фактором является акт электрохимического разряда, в котором при протекании реакции по механизму катодного внедрения участвуют, наряду с разряжающимися ионами  $Zn^{2+}$ , электроны и поверхностные вакансии:



Значения величин углового коэффициента наклона  $k_B$ ,  $C_{\text{Zn}}^0 \sqrt{D_{\text{Zn}}}$  и  $i(0)$  приведены в таблице.

Диффузионно-кинетические характеристики электровыделения Zn на Cu электроде из хлораммонийного электролита

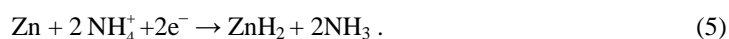
$\omega$ , об/с	$k_B \times 10^2, \frac{\text{A} \cdot \text{c}^{1/2}}{\text{cm}^2}$				$C_{\text{Zn}}^0 \sqrt{D_{\text{Zn}}} \times 10^7, \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{CM}^2 \cdot \text{C}^{1/2}}$				$i(0) \times 10^2, \text{A/cm}^2$			
	11	18	25	36	11	18	25	36	11	18	25	36
$C_{\text{ZnSO}_4}$ моль/л												
0,2	1,4	2	16	2	1	1	1	0,9	8	3,96	4,8	6,29
0,25	2,8	1,8	26	4	2	1	2	3	9,3	79,2	5,6	8,5
0,31	8	4,2	24,5	5,4	7	3	6	4	11,7	13,6	13	12,6
0,35	2,2	2,9	4,5	2,2	2	2	2	2	10,6	8,15	10,7	10,8
0,4	0,81	2,6	7,2	2,5	0,7	2	4	2	6,7	8,3	8,7	9,39

Изломы, наблюдаемые на зависимостях  $i-1/\sqrt{t}$  и  $i-\sqrt{t}$  при переходе в область более коротких времен поляризации, могут быть связаны с протеканием на Cu электроде, помимо процесса катодного внедрения цинка и образования сплава Zn(Cu), параллельной реакции адсорбции компонентов раствора. Поэтому, в соответствии с теорией потенциостатического метода,  $i,t$ -кривые анализировались в координатах  $\ln i,t$ . Зависимости  $\ln i-t$  имеют вид прямых, угловой коэффициент наклона которых зависит от концентрации ионов  $\text{Zn}^{2+}$  в растворе и минимален при  $C_{\text{Zn}^{2+}}=0,31$  моль/л. Это может быть связано с протеканием в растворе процессов комплексообразования, например:



которые способны оказывать влияние на процессы массопереноса в растворе, так и на кинетику взаимодействия разряжающихся ионов с поверхностными вакансиями.

Внедряющиеся атомы цинка могут катализировать процесс адсорбции ионов  $\text{NH}_4^+$  и их разряда с образованием гидрида цинка [5]:



Появляющийся на зависимостях  $\ln i-t$  излом для растворов, где  $C_{\text{ZnSO}_4} > 0,31$  моль/л, указывает на возможность протекания двух адсорбционных процессов.

Обнаруженный эффект влияния концентрации  $\text{ZnSO}_4$  на характер адсорбционных зависимостей  $\ln i-t$  требует своего дальнейшего более детального исследования и обоснования другими независимыми методами.

С целью выяснения механизма процесса образования зародышей интерметаллида Zn(Cu) и их разрастания по поверхности в сплошной монослой, которому отвечает область возрастания тока на  $i,t$ -кривых, исходные кривые перестраивались для указанной области времен в координатах  $\lg(i/t)-t^2$ . Линейный характер зависимостей указывает на механизм послойного наращивания осадка сплава.

Исследование зависимости  $i-C(\text{ZnSO}_4)$  от скорости вращения электрода в разные моменты поляризации ( $t=0$ ,  $t_{\text{min}}$ ,  $t=25$  с и  $t=720$  с); показало, что линейная зависимость в логарифмических координатах  $\lg i-\lg C$ , независимо от скорости вращения электрода, нарушается при концентрации  $\text{ZnSO}_4$  более 0,31 моль/л. Влияние состояния раствора, его структуры,



практически перестает сказываться только в стационарных условиях при  $t_{kn}=720$  с. Однако во всех случаях сохраняется влияние скорости вращения электрода на величину  $\Delta \lg i / \Delta \lg C$ . Это можно объяснить тем, что меняется активность внедряющихся атомов цинка в поверхностном слое, а именно она и определяет порядок реакции



Исследование анодного процесса на  $\text{Zn}(\text{Cu})$  электроде во всех исследованных растворах методом тонкослойной хронопотенциометрии показало, что влияние скорости вращения электрода на величину переходного времени  $\tau$  процесса имеет место, но оно не однозначно. Можно предположить, что анодное растворение цинка сопровождается образованием гидроксокомплексов в растворе и лимитируется скоростью их отвода от поверхности электрода в глубь раствора:



#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тютин К.М. Электрохимическое осаждение сплавов на основе олова и цинка / К.М. Тютин, Т.А. Ваграмян, Л.И. Космодамианская // Труды Московского химико-технологического института им. Д.И. Менделеева. 1981. Вып. 117. С. 112-128.
2. Особенности микрораспределения электролитических сплавов и их компонентов / В.И. Харламов, С.С. Кругликов, Н.С. Григорян, Т.А. Ваграмян // Электрохимия. 2001. Т. 37. № 7. С. 780-788.
3. Поветкин В.В. Электроосаждение сплавов медь-цинк из трилонатных электролитов / В.В. Поветкин, М.С. Захаров, Р.Р. Муслимов // Прикладная электрохимия и защита металлов от коррозии. 1999. Т. 72. Вып. 8. С. 53-58.
4. Феттер К. Электрохимическая кинетика / К. Феттер. М.: Химия, 1967. 254 с.
5. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия / Н.С. Ахметов. М.: Высшая школа, 1988. 640 с.

**Попова Светлана Степановна** –

доктор химических наук, профессор,  
заведующая кафедрой «Технология электрохимических производств»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

**Ченцова Елена Викторовна** –

аспирант кафедры «Технология электрохимических производств»  
Энгельсского технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического университета

УДК 621.9.048.7: 621.373.826

**О.А. Трофимова, Т.Н. Соколова, Г.В. Коношков**

#### **ФОРМИРОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ В ПИРОГРАФИТЕ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЛАЗЕРА НА АЛЮМО-ИТТРИЕВОМ ГРАНАТЕ**

*Исследован процесс формообразования отверстий, полученных в образцах пирографита, в результате воздействия сфокусированного излуче-*

*ния твердотельного лазера с длиной волны  $\lambda=1,064$  мкм и длительностью импульса  $\tau=4\cdot 10^{-3}$  с,  $\tau=1,5\cdot 10^{-4}$  с,  $\tau=1,2\cdot 10^{-7}$  с. Плотность мощности излучения изменялась в диапазоне  $10^6$ - $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>.*

**О.А. Trofimova, T.N. Sokolova, G.V. Konyushkov**

## **FORMATION OF HOLES IN PYROGRAPHITE BY THE YAG LASER RADIATION**

*Process of formation of the holes in pyrographite samples is researched as a result of focused radiation of the solid-state laser influence with wavelength  $\lambda=1,064\mu\text{m}$  and a pulse duration of radiation  $\tau=4\cdot 10^{-3}$  s,  $\tau=1,5\cdot 10^{-4}$  s,  $\tau=1,2\cdot 10^{-7}$  s. The power density of radiation is changed in a range  $10^6$ - $10^7$  W/cm<sup>2</sup>.*

Пирографит применяется для изготовления различных изделий: узлов ЭВП, деталей устройств и конструкций летательных аппаратов, подверженных действию высокотемпературной эрозии, оснастки для работы с расплавами, изделий биомедицины и др.

Пирографит толщиной от 20 до 150 мкм – очень хрупкий материал, поэтому целесообразно производить обработку материала лазерным излучением.

Пирографит – уникальный по своим свойствам материал: он обладает высокой анизотропией (равной 100 (и более):1), хорошей электропроводностью, высокой механической прочностью, которая в отличие от металлов увеличивается с ростом температуры, простотой получения тонких слоев, форма которых полностью определяется формой подложки, на которую осаждается пирографит. Пирографит является интересной и практически важной разновидностью искусственного графита, получаемого из газообразного сырья. Он представляет собой продукт пиролиза углеводородов (метана, гептана), который осаждается на нагретых до 1000-2500°C поверхностях формы подложки. При температурах выше 2500°C механическая прочность пирографита выше, чем у всех других известных материалов.

Эти качества будут оказывать влияние на результаты лазерной обработки, поэтому представляет интерес исследование процесса формообразования и резки лазерным излучением.

Для выяснения вопроса о целесообразности применения лазера при решении той или иной технологической задачи необходимо знать основы процесса взаимодействия лазерного излучения с материалом, возможности использования существующих лазеров, определяемые как характеристиками излучения (длина волны, энергия и мощность излучения, длительность импульса излучения, частота и скважность следования импульсов, интервал варьирования диаметра пучка излучения), так и характеристиками материала (отражательная способность и коэффициент поглощения на длине волны излучения лазера, теплопроводность, температуропроводность).

Основными параметрами лазерного излучения, определяющими процессы поглощения его веществом с последующим нагревом, плавлением и испарением, являются длина волны излучения  $\lambda$ , плотность мощности падающего излучения  $q$  (энергия импульса излучения) и длительность импульса  $\tau$  [1].

Лазерное излучение, обрабатываемое конденсированное вещество, удобнее всего характеризовать в терминах поверхностной плотности мощности или интенсивности. Такой подход позволяет ориентироваться в выборе типа лазера для реализации конкретных технологических процессов (нагрев, плавление, испарение) применительно к материалам с известными оптическими и теплофизическими параметрами.

Плотность мощности или интенсивность лазерного излучения  $q$  эквивалентна мощности  $P$  или энергии  $E$ , излученной в единицу времени  $\tau$ , падающей на единичную площадь поверхности  $S$ , расположенную нормально к направлению распространения лазерного излучения:

$$q = \frac{E}{\tau \cdot s} = \frac{P}{s} = \frac{4P}{\pi d^2}, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр круглого пятна сфокусированного излучения.

Характерным порядком величины  $q$ , требуемым для размерной обработки, является  $10^6$ - $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>. Эта величина определяет максимально допустимый диаметр пятна, зависящего от выбора фокусирующей системы, при определенном значении энергии  $E$ , являющемся параметром используемого оборудования, что в свою очередь вызывает необходимость оптимизации соотношения между этими величинами.

Диаметр пятна, в свою очередь, предъявляет требования к оптической фокусирующей системе и диафрагмированию излучения. При выборе диафрагмы необходимо помнить, что требуется не просто минимизация диаметра пятна излучения, но оптимизация соотношения между энергией и диаметром пятна с целью сохранения плотности мощности излучения, необходимую для испарения пирографита.

Оценку требуемого значения энергии излучения можно определить из предположения, что пирографит испаряется из объема  $V = \frac{\pi d^2 h}{4}$ , где  $h$  – толщина материала, когда удельная поглощенная энергия достигнет теплоты испарения пирографита, считая, что при этом теплота испарения графита  $Q \geq 1,2 \cdot 10^5$  Дж/г. Проведя оценку для толщины  $h=70$  мкм, приняв плотность пирографита  $\rho=2,25$  г/см<sup>3</sup>, радиус пятна сфокусированного излучения  $r=25$  мкм, получаем значение  $E=37$  мДж. Полученное значение попадает в интервал возможностей имеющегося на предприятии технологического оборудования, используемого для прошивки отверстий и размерной обработки. Оценка  $E$  энергии является заниженной, т.к. не учитываются потери на отражение и рассеяние и потери в оптической фокусирующей системе.

Лазерная обработка пирографита проводилась на разных технологических установках излучением твердотельного лазера с длиной волны  $\lambda=1,064$  мкм и длительностью импульса  $\tau=4 \cdot 10^{-3}$  с и  $\tau=1,5 \cdot 10^{-4}$  с,  $\tau=1,2 \cdot 10^{-7}$  с. Плотность мощности падающего излучения изменялась в диапазоне  $10^6$ - $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>.

Параметры излучения измерялись измерителем ИМО-2Н, размеры отверстий и следов излучения измерялись на микроскопах NU(Carl Zeiss), Биолам-М и MMP-2Р.

С целью оптимизации процесса обработки при формировании отверстия были проведены эксперименты для различных  $\tau$ .

Были выявлены определенные закономерности для каждого режима обработки.

В диапазоне  $10^{-4}$ - $10^{-3}$  с вокруг основной зоны непосредственного воздействия лазерного излучения на пирографит наблюдались кольца на поверхности материала.

Для  $\tau=4 \cdot 10^{-3}$  с наблюдаются два кольца вокруг отверстия (рис. 1), которые возникли, по нашему мнению, при распространении ударных волн в объеме материала, распространяющихся в плоскости пиролитических слоев. Ударное давление может достигать 10 ГПа [2], что вызывает разрушение внешней стороны образца. На обратной стороне образца при более высоких значениях  $q$  выступила сажа. В качестве критерия возможности образования ударной волны можно принять условие, что этот процесс происходит в пределах полусферы с радиусом, равным радиусу пятна воздействия [3], поскольку если волна не стала ударной в этой области, то начинается быстрое затухание ее амплитуды по закону точечного источника. Формальное выражение этого критерия имеет вид:

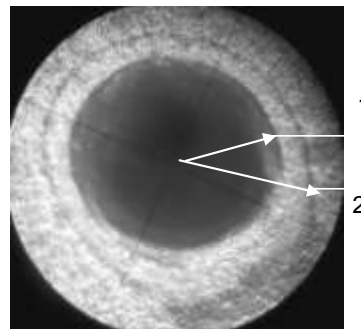


Рис. 1. Воздействие на образец излучения с  $\tau=4 \cdot 10^{-3}$  с (1 –  $\Delta R_1$ , 2 –  $\Delta R_2$ )

$$\frac{E}{n\tau_i^2} > \frac{v_e\rho}{\alpha}, \quad (2)$$

где  $E$  – поглощенная энергия лазерного импульса;  $\tau_i$  – длительность пика излучения;  $n$  – количество пиков в импульсе;  $v_e$  – продольная скорость звука в материале;  $\rho$  – плотность вещества материала;  $\alpha$  – коэффициент поглощения.

По формуле (2) прогнозируется, что чем меньше длительность импульса, тем больше скорость затухания ударной волны.

Проведены замеры колец от виртуального центра зоны сфокусированного излучения ( $R_0$ ). Построены зависимости  $R_0/\Delta R_1$  ( $\Delta R_1$  – радиус ближнего кольца) и  $R_0/\Delta R_2$  ( $\Delta R_2$  – радиус дальнего кольца) от  $q$ , которые показаны на рис. 2.

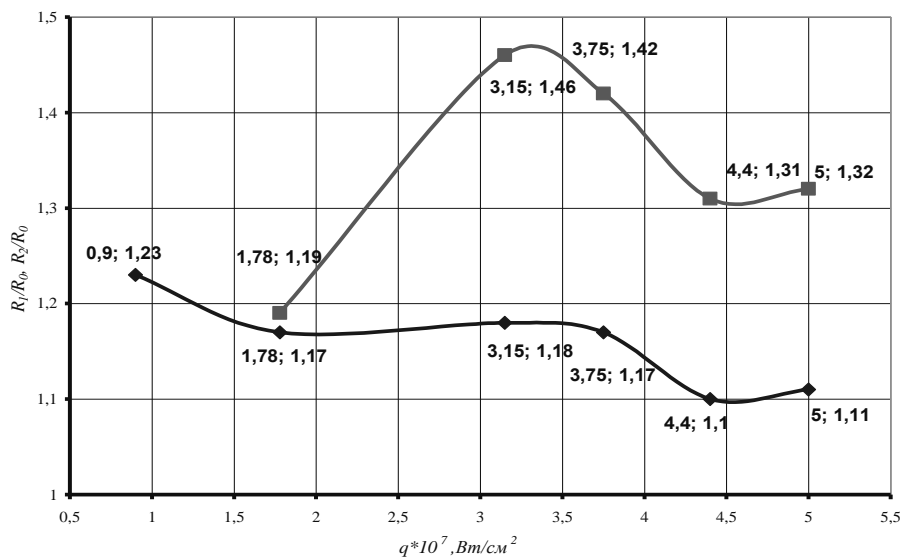


Рис. 2. Зависимости  $R_0/\Delta R_1$  и  $R_0/\Delta R_2$  от  $q$  при  $\tau=4 \cdot 10^{-3}$  с

Для  $\tau=1,5 \cdot 10^{-4}$  с наблюдается одно кольцо (рис. 3). Образование сажи на обратной стороне образца не наблюдалось.

Зависимость  $R_0/\Delta R_1$  от  $q$  показана на рис. 4.

Для  $\tau=0,15 \cdot 10^{-3}$  с были проведены эксперименты с различной частотой повторения импульсов излучения  $f$ :  $f=1$  Гц,  $f=5$  Гц,  $f=10$  Гц. Анализ

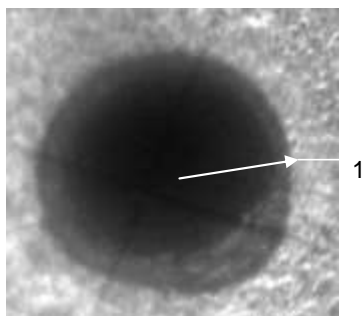


Рис. 3. Воздействие на образец излучения с  $\tau=1,5 \cdot 10^{-4}$  с ( $1 - \Delta R_1$ )

зависимости  $R_0/\Delta R_1$  (рис. 4) свидетельствует о наличии оптимума по плотности мощности падающего излучения при  $q=2 \cdot 10^7$  Вт/см<sup>2</sup>. Это говорит о наиболее близком расположении кольца дефектной зоны к краю отверстия.

При частоте повторения импульсов излучения  $f=1$  Гц на внешней стороне образца наблюдается первое кольцо в виде устья отверстия, намечается формирование второго кольца, на обратной стороне наблюдается образование сажи.

При частоте повторения импульсов излучения  $f=5$  Гц на внешней стороне образца также наблюдается

первое кольцо в виде устья отверстия, второе кольцо четкое, намечается третье кольцо, на обратной стороне также заметно образование сажи.

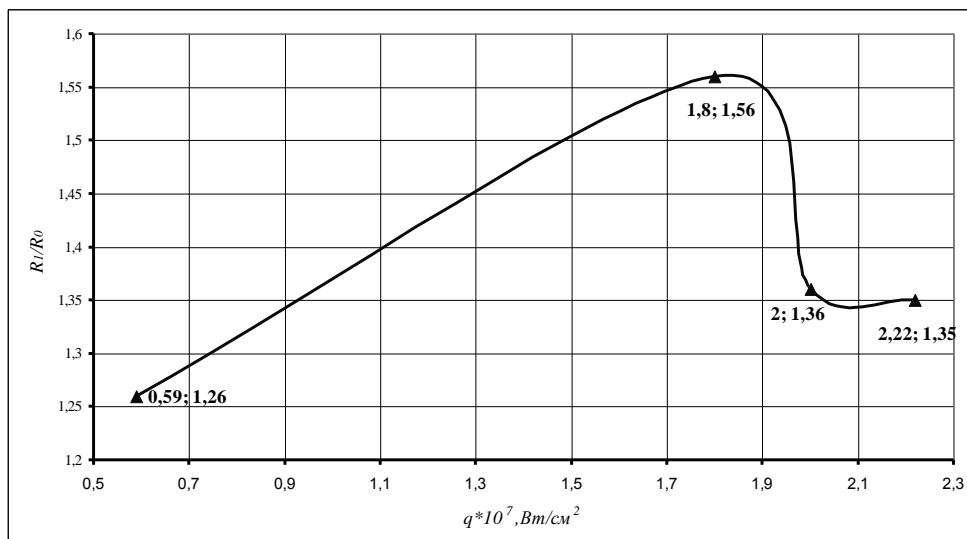


Рис. 4. Зависимость  $R_0/\Delta R_1$  от  $q$  при  $\tau=0,15 \cdot 10^{-3}$  с

При частоте повторения импульсов излучения  $f=10$  Гц на внешней стороне образца наблюдается одно кольцо с четкими линиями, на обратной стороне также явно заметно одно кольцо.

При длительности импульса порядка  $10^{-7}$  с кольца вокруг зоны сфокусированного лазерного излучения не наблюдались.

Таким образом, можно провести оптимизацию процесса формообразования отверстий в пирографите (с целью прошивки отверстий или резки пирографита) по длительности импульса. Целесообразно проводить обработку на лазерной установке с длительностью импульса  $\tau < 10^{-4}$  с для массивного пирографита, для тонкого пирографита обработка оптимальна при длительности импульса порядка  $10^{-7}$  с.

Для определения оптимизации по плотности мощности была найдена зависимость удельной массы ( $m_{уд}$ , г/Дж) от  $q$ , представленная на рис. 5.

Существует максимум выноса массы пирографита в зависимости от плотности мощности. Наличие максимума позволяет оптимизировать параметры лазерного излучения и производить резку пирографита в оптимальном режиме.

Исходя из формулы (1) и рис. 5 видно, что для достижения максимума плотности мощности необходимо менять длительность импульса  $\tau$ , так как при увеличении энергии падающего излучения выше определенного уровня вынос удельной массы уменьшается из-за экранирования излучения плазменным облаком.

При действии мощного лазерного излучения испаряющееся вещество может начать интенсивно поглощать падающий поток энергии, поскольку вблизи поверхности образуется плазма, которая распространяется по нормали к поверхности в плоскости падения излучения. Это явление (волна поглощения) имеет пороговый характер по интенсивности лазерного облучения. Уровень энергетического порога зависит от длительности импульса, длины волны и давления. В частности, он снижается с ростом длины волны излучения [4]. Волна поглощения непрозрачна и препятствует проникновению энергии излучения к поверхности. Для случая падения, например, на корундовую керамику импульса излучения  $\text{CO}_2$ -лазера при  $\tau=1$  мс

волна поглощения возникает при  $q=10^7$  Вт/см<sup>2</sup>, поскольку при больших интенсивностях начинает резко снижаться удельный вынос вещества [2].

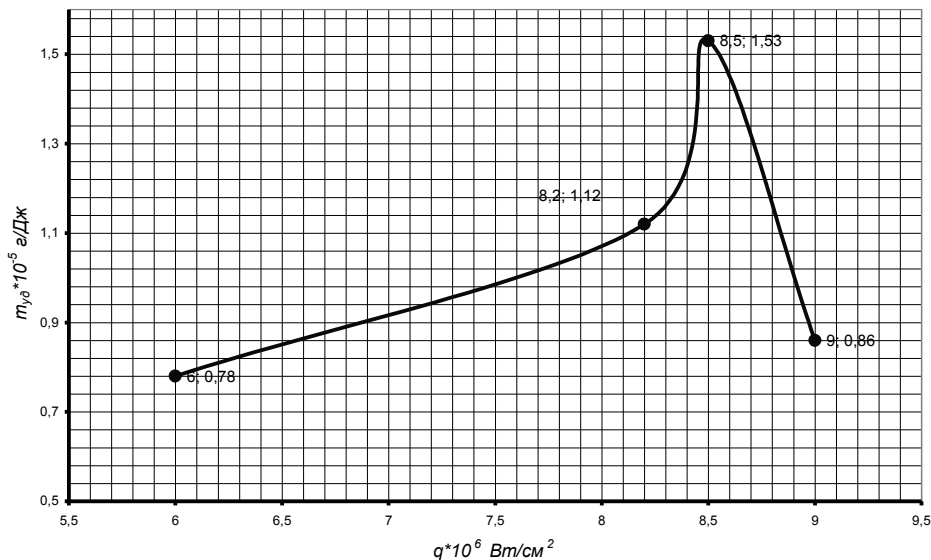


Рис. 5. Зависимость  $m_{уд}$  от  $q$

С возникновением плазменного поглощения можно связать резкий спад коэффициента отражения в течение действия лазерного импульса, вследствие чего факел паров появляется с задержкой относительно начала импульса, причем время задержки уменьшается с ростом интенсивности импульсного лазерного облучения, а средняя энергия, поглощенная до появления факела, является постоянной величиной. Эти закономерности характерны для слабо отражающих излучение диэлектриков с лимитирующей стадией испарения поверхностного слоя.

Чтобы лазерная энергия проникала в плазму, оптическая частота должна быть больше плазменной частоты  $\nu_p$ , которая определяется из [5]:

$$\nu_p = 8,9 \cdot 10^3 n_e^{1/2}, \quad (3)$$

где  $n_e$  – плотность электронов в плазме.

При давлении газа, окружающего материал, в несколько десятков атмосфер и  $q \sim 10^6 - 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> над поверхностью материала развивается плазменное облако, движущееся навстречу излучению со скоростью 2-5 м/с и почти полностью экранирующее поверхность. Степень экранирования значительно зависит от давления газа и несколько слабее от интенсивности облучения. Время существования плазменного облака, например, над керамикой типа 22ХС (ВК94) в атмосфере азота достигает 4 мс при длительности импульса лазерного излучения  $\tau = 0,8$  мс, причем температура плазменного сгустка возрастает после окончания импульса, что связывается с выделением энергии химической реакции горения части в плазме [6].

В случае пирографита мы наблюдаем аналогичную картину зависимости выноса массы от плотности мощности излучения (рис. 5). При оптимизации процессов лазерной резки пирографита необходимо учитывать пороговый характер зависимости выноса массы от плотности мощности падающего излучения.

Оптимизацию режимов целесообразно проводить с уменьшением длительности импульса. При фиксированных длительности импульса и параметрах оптической фокусирующей системы оптимизацию следует проводить по энергии импульса излучения.

На основе анализа расчетных данных и их экспериментальной проверке с учетом минимизации термоупругих напряжений в зоне обработки определены исходные режимы рабо-

ты лазерных технологических установок (специально разработанных для лазерной резки хрупких материалов):  $E=2$  Дж,  $\tau=250$  мкс, диафрагма  $D=3$  мм и  $E=2$  Дж,  $\tau=125$  мкс.

При выборе режима лазерной размерной обработки пиррографита необходимо учитывать его анизотропность. Так, теплопроводность  $k$  пиррографита в направлении, перпендикулярном к облучаемой поверхности, более чем на два порядка меньше теплопроводности в направлении, параллельном поверхности. В таком же соотношении находятся значения температуропроводности ( $a_{\perp} \approx 0,0005$  см<sup>2</sup>/с,  $a_{\parallel} \approx 0,05$  см<sup>2</sup>/с) [7], что определяет разную глубину проникновения тепла в деталь  $l = \sqrt{a\tau}$  (0,00035 и 0,0035 в перпендикулярном и параллельном направлениях поверхности соответственно) и время теплонасыщения  $t = \frac{r_0^2}{a}$  ( $1,2 \cdot 10^{-2}$  с и  $1,2 \cdot 10^{-4}$  с соответственно).

Можно сделать вывод, что скорость нагрева анизотропного материала в целом меньше, чем изотропного, и лазерная обработка в первом случае потребует повышения энергозатрат при обработке деталей равной толщины.

Различная глубина проникновения тепла вдоль поверхности и перпендикулярно ей должна учитываться при прогнозировании точностных характеристик размерной обработки.

Точность и воспроизводимость результатов лазерной обработки определяются, в основном, наличием жидкой фазы материала, образующей при застывании дефектный слой, в котором возможно зарождение трещин, проникающих при неблагоприятных условиях в массу основного материала и приводящих к охрупчиванию края отверстия.

В общем случае над поверхностью воздействия излучения всегда существует слой расплавленного материала с характерной толщиной  $\Delta l$

$$\Delta l = \frac{a \cdot \tau}{r} \ln \frac{T_v}{T_m}, \quad (4)$$

где  $T_v$  и  $T_m$  – температуры испарения и плавления материала соответственно.

Необходимо учитывать, что согласно модели генерации волн напряжения [8] среднее давление  $P_{cp}$  на поверхности мишени в месте воздействия лазерного импульса составляет:

$$P_{cp} = \frac{8}{7} (b \cdot \tau)^{-\frac{1}{8}} \cdot q^{\frac{3}{4}}, \quad (5)$$

где  $b$  – коэффициент, связанный со степенью ионизации и массой атома испаряемого вещества.

Таким образом, режимы с меньшей длительностью импульса при плотности мощности одного порядка обеспечивают большее давление на поверхности мишени, создавая тем самым предпосылки для больших напряжений, которые могут превысить предел прочности материала. Это, кстати, находит экспериментальное подтверждение при обработке пиррографита излучением импульсно-периодического СО<sub>2</sub> лазера и лазера на парах меди [9] с длительностью лидирующего импульса 300 нс при плотности мощности излучения  $q \approx 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> – в результате обработки наблюдается микроотслаивание уже в припороговом режиме. Эти данные подтверждают правильность нашего выбора диапазона плотностей мощности –  $10^6$ - $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>.

Учет дефектного слоя необходим для обеспечения высокого качества прошивки и резки, т.к. величина  $\Delta l$  будет определять возможные отклонения размеров отверстия от среднего.

При выбранных технологических параметрах излучения и толщине обрабатываемых деталей  $70 \text{ мкм} \leq h \leq 150 \text{ мкм}$  материал можно считать тонким ( $h \ll 2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}$ , в направлении, перпендикулярном поверхности), т.е. температуру считаем одинаковой по всей толщине и рассматриваем образование дефектного слоя вдоль поверхности детали.

$\Delta l_{\max}$  составляет, в соответствии с (4), 5 мкм, в этом случае относительная погрешность размеров диаметра  $\frac{\Delta d}{d} = 0,1 \ln \frac{T_v}{T_m} \approx 0,0307$ . Для  $d=50$  мкм эта величина составляет 1,5 мкм.

Необходимо учитывать, что получение сложноконтурных деталей происходит путем обхода по контуру пятном излучения и погрешность будет возрастать из-за набега ошибки

при многократных обходах. С целью сглаживания неровностей края вырезанного контура рекомендуется проводить обработку с переменной скоростью перемещения.

Начальная скорость перемещения  $v$  определяется соотношением радиуса пятна  $r$  и частоты повторения импульсов излучения  $f$ :

$$v = r \cdot f .$$

Так, для  $r=25$  мкм и  $f=5$  Гц,  $v=125$  мкм/с.

Второй проход по контуру можно провести с большей скоростью.

В результате проведенных исследований обнаружено образование колец дефектной зоны, которые могут привести к разрушению в зоне прошивки при эксплуатации изделий. Определен оптимальный диапазон плотности мощности лазерного излучения, при котором дефектная зона минимальна. В рамках этого диапазона определено направление минимизации дефектной зоны. Минимизацию дефектной зоны целесообразно проводить по длительности импульса. Обнаружен пороговый характер выноса массы в зависимости от плотности мощности излучения, позволяющий минимизировать энергозатраты.

Определены оптимальные технологические режимы резки пирографита с минимальными энергозатратами и дефектной зоны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соколова Т.Н. Лазерная размерная обработка материалов, применяемых в электронной технике. Ч. 1. Обработка керамики / Т.Н. Соколова, Л.А. Сурменко. М.: ЦНИИ «Электроника», 1986. 38 с.
2. Углов А.А. Теплофизические и гидродинамические явления в процессах лазерной обработки металлов / А.А. Углов // Физика и химия обработки материалов. 1974. № 5. С.7-13.
3. Янушкевич В.А. Критерий возможности образования ударных волн при воздействии лазерного излучения на поверхность поглощающих конденсированных сред / В.А. Янушкевич // Физика и химия обработки материалов. 1975. № 5. С. 9-11.
4. Stegman R.L. Experimental studies of laser supported adsoption waves with 5-ms pulses of 10,6 micron radiation / R.L. Stegman, J.T. Schriempf, L.R. Hottche // Journal Application Physics. 1973. Vol. 44. P. 3674-3681.
5. Спитцер Л.Е. Физика полностью ионизированного газа / Л.Е. Спитцер. М.: Мир, 1965. 216 с.
6. Орехов М.В. О разрушении мишени в наклонном падении лазерного излучения на ее поверхность / М.В. Орехов, А.А. Углов, Т.Н. Соколова // Физика и химия обработки материалов. 1978. № 3. С. 159-162.
7. Теплопроводность твердых тел: справочник / А.С. Охотин, Р.П. Боровикова, Т.В. Нечаева, А.С. Пушкарский. М.: Энергоатомиздат, 1984. 320 с.
8. Расчеты на прочность, устойчивость и колебания в условиях высоких температур / Н.И. Безухов, В.Л. Божанов, И.И. Гольденблат и др. М.: Машиностроение, 1965. 204 с.
9. Доманов М.С. Применение лазера на парах меди для прецизионной обработки / Н.А. Лябин, А.Д. Чурсин, М.А. Казарян // Лазер-Информ. 2004. № 22 (301), ноябрь. С.6-10.

**Трофимова Оксана Александровна** –  
аспирант кафедры «Электронное машиностроение»  
Саратовского государственного технического университета

**Соколова Татьяна Николаевна** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронное машиностроение»  
Саратовского государственного технического университета

**Конюшков Геннадий Владимирович** –  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электронное машиностроение»  
Саратовского государственного технического университета



---

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

---

УДК 681.5

**М.П. Васин, В.В. Горбунов, С.А. Игнатьев**

### **АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ШЛИФОВАНИЯ КОЛЕЦ ВЫСОКОТОЧНЫХ ПОДШИПНИКОВ**

*Рассматривается метод адаптации управления шлифованием колец высокоточных подшипников к партии колец*

**M.P. Vasin, V.V. Gorbunov, S.A. Ignatyev**

### **HIGH-PRECISION BEARING RINGS RINDING ADAPTIVE CONTROL**

*The method for adaptation of the high-precision bearing rings grinding control for the rings part is described here.*

К технологии изготовления деталей высокоточных (в частности, авиационных) подшипников предъявляются наиболее высокие требования по стабильности результатов обработки, в частности, к стабильности качества обработки. Особое влияние на эксплуатационную надёжность подшипников и на стоимость их изготовления оказывает шлифовальная обработка колец подшипников.

Стабильность качества шлифования деталей авиационных подшипников достигается путём относительного увеличения количества шлифовальных операций, снижением напряженности режима обработки. При этом время «шлифования воздуха» и время на переходные режимы, в течение которого часть подачи расходуется на упругое деформирование узлов станочной системы, могут составлять более половины времени обработки [1]. Разбиение процесса удаления припуска более чем на две-три операции приводит к тому, что вся обработка осуществляется в нестабильном переходном режиме. Это приводит к дестабилизации качества обработки, как в отношении геометрической и размерной точности обработки, так и в отношении физико-механического состояния поверхностного слоя шлифованных деталей.

Некоторые детали подшипников изготавливаются из труднообрабатываемых сталей, шлифование которых сопровождается наиболее интенсивными тепловыми и колебательными процессами в зоне обработки. Это приводит к существенным погрешностям макро- и микрогеометрических параметров точности, а также к неоднородности структуры поверхностного слоя [2]. Погрешности шлифовальной обработки в этом случае многократно снижают эффективность применения специальных сталей, поскольку подшипникам, детали которых обработаны по существующей технологии, характерна высокая неоднородность ресурса, что имеет особое значение для авиации.

Стоит отметить, что сказанное о качестве обработки относится как к станкам, не оснащённым системами автоматического управления с обратными связями, так и к современным многошпиндельным координатно-шлифовальным станкам.

Автоматическое распределение режимов шлифования по припуску, осуществляемое приборами активного контроля, может быть более или менее эффективным в зависимости от набора контролируемых параметров и способов обработки информации о процессе и о результатах шлифования. К числу дополнительных контролируемых параметров следует отнести уровень вибраций в технологической системе (ТС) и скорость съема припуска (рис. 1). Измерение вибрации ТС позволяет контролировать не только собственно процесс шлифования, но и правку круга, а также сократить время «шлифования воздуха».

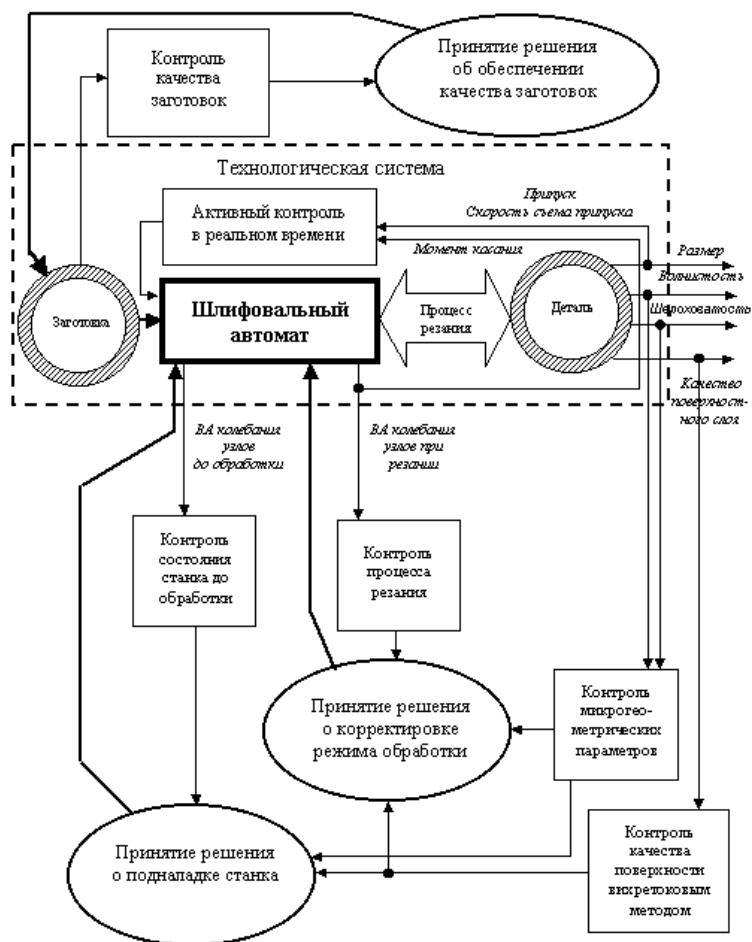


Рис. 1. Управление процессом шлифования с использованием дополнительных информационных параметров

По результатам измерения многих деталей установлена корреляционная связь спектра вибраций с неоднородностью поверхностного слоя. При этом неоднородность возрастает как при увеличении высокочастотных составляющих (более 1 кГц), связанных с режущей способностью шлифовального круга, так и при увеличении низкочастотных составляющих

спектра колебаний жесткой опоры, связанных с дисбалансом вращающихся масс. Эта информация может использоваться для управления шлифованием. В настоящее время для моделирования управления шлифованием три вышеназванных прибора физически и программно объединяются в комплекс, который выполняет функции системы активного контроля и может непосредственно управлять станком. Это позволит экспериментально исследовать управление шлифованием с разнообразным набором информационных каналов и функций системы управления [3].

Известен набор методов и средств повышения эффективности шлифовальной обработки [4,5]. Для применения в производстве авиационных подшипников выделены:

- контроль величины и формы припуска;
- контроль состояния оборудования и инструментов;
- многопараметровое управление режимом обработки с адаптацией к переменным условиям обработки;
- мониторинг качества обработанных деталей.

Техническое решение комплекса выделенных задач основано на применении современных средств автоматизации производства и вычислительной техники. К таким средствам относятся системы технологического контроля и мониторинга, разрабатываемые для замены традиционных приборов активного контроля размера обрабатываемой детали, которыми оснащено большинство шлифовальных станков.

Используемое на отечественных подшипниковых заводах шлифовальное оборудование и приборы активного контроля имеют ряд недостатков, не позволяющих обеспечивать высокое качество шлифования при высокой производительности [6]:

- в результате отклонений величины и формы припуска, положения дорожки качения относительно базового торца до 30% времени обработки затрачивается на «шлифование воздуха»;
- наибольшие структурные изменения в поверхностном слое, вызванные шлифовальной обработкой, связанные со скоростью съема припуска и вибрацией, образуются в конце черновой подачи, их глубина может превышать припуск на выполнение чистой подачи и выхаживание;
- скорость съема припуска при выхаживании и в момент окончания шлифования зависит от накопленного натяга в системе при предварительной и окончательной подаче, которые определяются величиной припуска и других геометрических характеристик заготовки.

В настоящее время ОАО «Саратовский подшипниковый завод» совместно с СГТУ ведётся разработка микропроцессорного прибора многопараметрового активного контроля (МПМАК) для шлифовального станка. МПМАК реализует управление циклом шлифования по величине припуска, скорости снятия припуска и уровню вибрации жесткой опоры, а также обеспечивает сбор информации для системы мониторинга технологического процесса (СМТП) и коррекцию цикла шлифования по информации из системы мониторинга [5].

Важным моментом в управлении качеством обработки является программно-математическое и алгоритмическое обеспечение МПМАК. Алгоритмы, реализуемые классическими приборами активного контроля, являются алгоритмами программного управления и не обеспечивают корректировки припусков переключения подач, что необходимо для упреждающего понижения подачи [1,6]. В данном случае рассматривается алгоритм, обеспечивающий адаптацию активного контроля к партии деталей, обладающих определённым набором характеристик.

Для описания алгоритмов будем использовать лямбда-исчисление [7] – математическую формализацию понятия алгоритма, являющуюся основой функционального программирования [8]. В отличие от других формализаций, лямбда-исчисление непосредственно может быть использовано (хотя и с некоторыми неудобствами) для написания программ.

Формальное лямбда-исчисление изучает функции и их аппликативное поведение, поэтому **апликация** (применение функции к аргументу) – исходная операция лямбда-исчисления. Функция  $f$  в применении к аргументу  $a$  обозначается через  $f a$  (мы будем использовать это обозначение наравне с традиционным математическим  $f(a)$ ). Операция, дополнительная к апликации, называется **абстракцией**. Пусть  $t (=t(x))$  – выражение, возможно, содержащее переменную  $x$ . Тогда  $\lambda x.t(x)$  – это функция, сопоставляющая аргументу  $a$  значение  $t(a)$ . Иными словами, имеет место равенство:

$$(\lambda x.t(x))a = t(a). \tag{1}$$

Рассмотрение апликации и абстракции только для одноместных функций основано на том факте, что функции многих переменных можно свести к одноместным функциям. Например, если  $f(x, y)$  – исходная двухместная функция, то полагаем  $f_x = \lambda y.f(x, y)$  и  $a = \lambda x.f_x$ . Тогда имеем  $(ax)y = f_x y = f(x, y)$ .

Состояние процесса шлифования в некоторый момент времени описывается вектором  $S = (x, v_\partial, V_{ж.о.})$ , где  $x$  – величина припуска,  $v_\partial$  – скорость снятия припуска,  $V_{ж.о.}$  – виброускорение жесткой опоры. Тогда цикл шлифования можно представить функцией времени  $S = M_{ш}(t)$ , описывающей траекторию в пространстве координат  $(x, v_\partial, V_{ж.о.})$  (пространство режимов шлифования).

Для каждого режима шлифования определены ограничения  $\{C_{ск}(x), C_{вибр}(x)\}$  по скорости и вибрации жесткой опоры, также определены начальные пороговые значения припуска для переключения подач  $M_n = \{M_{ni}\}$ . Тогда в первом приближении алгоритм управления процессом шлифования можно описать функцией:

$$F_y(x, v_\partial, V_{ж.о.}) = \begin{cases} A_0, & \text{если } C(v_\partial, V_{ж.о.}) \wedge x \notin M_n, \\ A_{nm}, & \text{иначе} \end{cases}, \tag{2}$$

где  $A_0$  – пустое действие;  $A_{nm}$  – действие переключения подачи;  $C(v_\partial, V_{ж.о.}(t))$  – функция принадлежности текущего состояния процесса шлифования допустимым.

Алгоритм, описываемый функцией (2), является граничным алгоритмом управления [1] и не обеспечивает корректировки припусков переключения подач (что необходимо для упреждающего понижения подачи). Для повышения производительности станка при сохранении фазового портрета процесса в допустимой области пространства состояний можно корректировать граничные припуски переключения подач.

Адаптация активного контроля основана на корректировке пороговых значений припуска при прохождении фазового портрета процесса через некоторые области пространства режимов шлифования.

Вместо фиксированного набора пороговых припусков переключения подач алгоритм использует диапазоны переключения подач:

$$M_{ni} = \begin{vmatrix} x_{n1min} & x_{n2min} & \dots & x_{niNmin} \\ x_{n1max} & x_{n2max} & \dots & x_{niNmax} \end{vmatrix}. \tag{3}$$

При этом необходимость по припуску переключения с активной подачи  $i$  на подачу  $i+1$  оценивается функцией:

$$S_x(x, i) = \begin{cases} \frac{x_{ni+1max} - x}{x_{ni+1max} - x_{ni+1min}}, & \text{если } x \in M_{ni+1} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \tag{4}$$

Для активной подачи  $i$  будем говорить, что текущий припуск  $x$  принадлежит диапазону безусловного переключения подачи, если выполняется условие:

$$S_x(x, i) \geq S_{дон}, \quad (5)$$

где  $S_{дон}$  – некоторая граница.

Если условие (4) не выполняется, будем говорить, что припуск принадлежит диапазону условного переключения подачи.

Обозначим через  $x_{nni}$  величину припуска, соответствующую  $S_x(x, i) = S_{дон}$ :

$$x_{nni} = x_{nni+1max} - S_{дон} \cdot (x_{nni+1max} - x_{nni+1min}). \quad (6)$$

Под окрестностью  $i$ -й границы переключения подачи будем понимать подпространство режимов шлифования, ограниченное плоскостями  $P_1(v_d, V_{жсo}) = x_{nnimin}$  и  $P_2(v_d, V_{жсo}) = x_{nni+1min}$ .

Окрестность  $i$ -й границы переключения подачи разобьём на 6 областей (проекции на плоскости  $(v_d, x)$  и  $(V_{жсo}, x)$  показаны на рис. 2).

Каждой области сопоставим функцию управления  $F_{y.ad.}(x, v_d, V_{жсo}, i)$ , описывающую алгоритм коррекции процесса шлифования и граничных припусков.

Блок-схема алгоритма приведена на рис. 3.

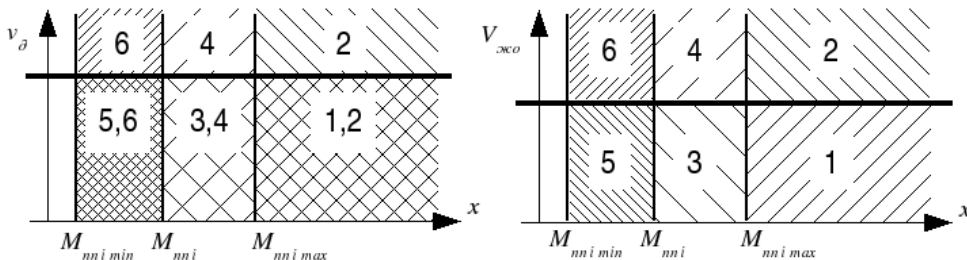


Рис. 2. Разбиение окрестности  $i$ -й границы переключения подачи

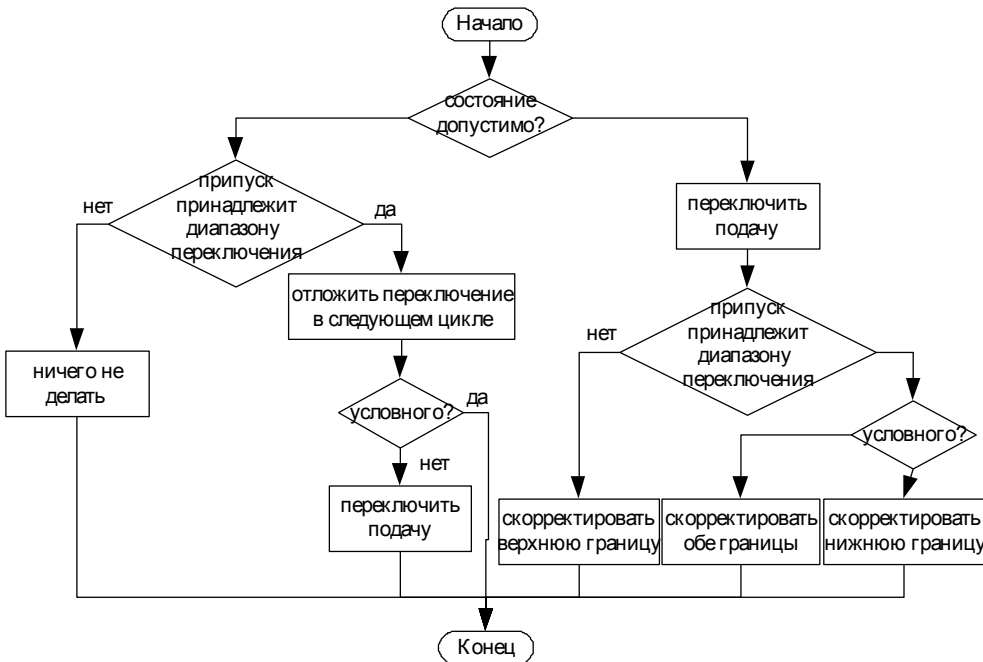


Рис. 3. Алгоритм адаптации управления процессом шлифования к партии деталей

Функция управления имеет тип  $F_{y.ad} : R \rightarrow R \rightarrow R \rightarrow N_n \rightarrow \langle N_n, F_{кор} \rangle$ ,  $R$  – множество действительных чисел,  $N_n = \langle x | 0 < x < N_{под} \wedge x \in N \rangle$  – множество номеров подач,  $N_{под}$  – количество подач на станке,  $N$  – множество натуральных чисел,  $F_{кор}$  – множество функций, корректирующих граничные припуски.

Если состояние процесса шлифования лежит в допустимой области пространства режимов шлифования и текущий припуск не принадлежит диапазонам переключения подачи (область 1), т.е. истинно выражение  $C(v_\partial, V_{жс}) \wedge (S_w(x, i) = 0)$ , где  $i$  – активная подача, то переключать подачу и корректировать граничные припуски не требуется. Функция управления в области 1 имеет вид:

$$F_{y.ad.}(x, v_\partial, V_{жс}, i) = \langle i, I \rangle, \tag{7}$$

где  $I(x) = x$  – единичная функция.

Если состояние процесса шлифования лежит в недопустимой области пространства режимов шлифования и текущий припуск не принадлежит диапазонам переключения подачи (область 2), т.е. истинно условие  $\overline{C(v_\partial, V_{жс})} \wedge (S_w(x, i) = 0)$ , то необходимо переключить подачу и установить верхнюю границу диапазона переключения на  $(i+1)$ -ю подачу равной  $x$ . Функция управления в области 2 имеет вид:

$$F_{y.ad.}(x, v_\partial, V_{жс}, i) = \langle i+1, F_{ycmmax}(i+1)x \rangle, \tag{8}$$

где  $F_{ycmmax}$  – функция, устанавливающая верхнюю границу диапазона переключения на  $(i+1)$ -ю подачу:

$$F_{ycmmax}(i, x, M_{nn}) = M_{nn} + \begin{vmatrix} 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & x_{nmin} - x & \dots & 0 \end{vmatrix}. \tag{9}$$

Если состояние процесса шлифования лежит в допустимой области пространства режимов шлифования и текущий припуск принадлежит диапазону условного переключения подачи (область 3), т.е. истинно условие  $C(v_{сн}, V_{жс}) \wedge 0 < S_w(x, i) < S_{дон}$ , то переключать подачу не требуется, но нужно отложить переключение на  $(i+1)$ -ю подачу в следующем цикле (понижив верхнюю границу диапазона переключения на  $(i+1)$ -ю подачу). Функция управления в области 3 имеет вид:

$$F_{y.ad.}(x, v_\partial, V_{жс}, i) = \langle i, F_{ycmmax}x'_{ni+1max} \rangle, \tag{10}$$

где  $x'_{ni+1max}$  – скорректированное значение верхней границы, причём  $x'_{ni+1max} < x_{ni+1max}$

Если состояние процесса шлифования лежит в недопустимой области пространства режимов шлифования и текущий припуск принадлежит диапазону условного переключения подачи (область 4), т.е. истинно условие  $\overline{C(v_{сн}, V_{жс})} \wedge 0 < S_w(x, i) < S_{дон}$ , то нужно переключить подачу и скорректировать границы диапазона переключения на  $(i+1)$ -ю подачу. Функция управления в области 4 имеет вид:

$$F_{y.ad.}(x, v_\partial, V_{жс}, i) = \langle i+1, (F_{ycmmin}(i+1)x'_{ni+1min}) \circ (F_{ycmmax}(i+1)x'_{ni+1max}) \rangle, \tag{11}$$

где  $F_{ycmmin}$  – функция, устанавливающая нижнюю границу диапазона переключения на  $(i+1)$ -ю подачу

$$F_{ycmmin}(x, M_{nn}) = M_{nn} + \begin{vmatrix} 0 & \dots & x_{nmin} - x & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \end{vmatrix}, \tag{12}$$

$x'_{nmi+1min}$  – скорректированное значение нижней границы, причём  $x'_{nmi+1min} > x_{nmi+1min}$ ,  
 $x'_{nmi+1max}$  – скорректированное значение верхней границы, причём  $x'_{nmi+1max} > x_{nmi+1max}$ ,  
 $(f \circ h)x = f(hx)$  – композиция функций  $f$  и  $h$ .

Если состояние процесса шлифования лежит в допустимой области пространства режимов шлифования и текущий припуск принадлежит диапазону безусловного переключения подачи (область 5), т.е. истинно условие  $C(v_{cn}, V_{жко}) \wedge S_w(x, i) \geq S_{дон}$ , то нужно переключить подачу и отложить переключение на  $(i + 1)$ -ю подачу в следующем цикле (понижив нижнюю границу диапазона переключения на  $(i + 1)$ -ю подачу). Функция управления в области 5 имеет вид:

$$F_{y.ad.}(x, v_d, V_{жко}, i) = \langle i + 1, F_{уст.min} x'_{nmi+1min} \rangle, \quad (13)$$

где  $x'_{nmi+1min}$  – скорректированное значение нижней границы, причём  $x'_{nmi+1min} < x_{nmi+1min}$ .

Если состояние процесса шлифования лежит в недопустимой области пространства режимов шлифования и текущий припуск принадлежит диапазону безусловного переключения подачи (область 6), т.е. истинно условие  $\overline{C(v_{cn}, V_{жко})} \wedge S_w(x, i) \geq S_{дон}$ , то нужно переключить подачу и установить нижнюю границу диапазона переключения на  $(i + 1)$ -ю подачу равной  $x$ . Функция управления в области 6 имеет вид:

$$F_{y.ad.}(x, v_d, V_{жко}, i) = \langle i + 1, F_{уст.min}(i + 1)x \rangle. \quad (14)$$

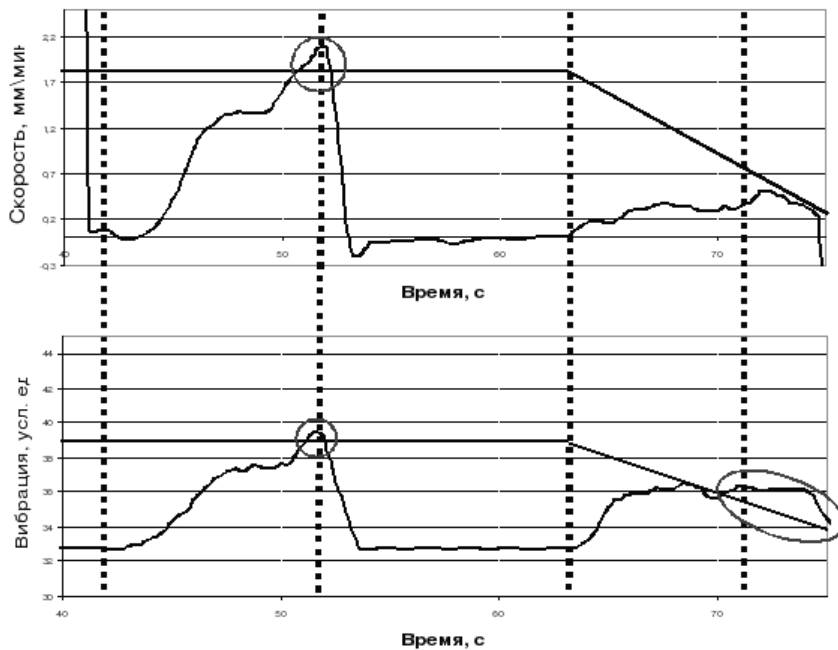


Рис. 4. Изменение скорости съема припуска и вибрации жесткой опоры в цикле шлифования

На рис. 4 показаны графики скорости съема припуска и вибрации жесткой опоры в цикле шлифования, полученные при экспериментальном исследовании цикла шлифования с применением существующих приборов активного контроля. Овалами выделены области, в которых нарушены ограничения по скорости съема припуска и/или уровню вибрации жесткой опоры.

При управлении по описанному алгоритму подачи переключаются сразу после обнаружения нарушения ограничений, а также корректируются граничные припуски, для предотвращения подобных ситуаций при шлифовании последующих деталей, что существенно повышает качество процесса обработки колец подшипников.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Михелькевич В.Н. Автоматическое управление шлифованием / В.Н. Михелькевич. М.: Машиностроение, 1975. 304 с.
2. Эльянов В.Д. Шлифование в автоматическом цикле / В.Д. Эльянов. М.: Машиностроение, 1980. 104 с.
3. Карпеева Е.В. Формирование информационных каналов активного контроля шлифовальной обработки / Е.В. Карпеева // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: сб. ст. Междунар. конф. Волжский: ВолжскИСИ, 2002. С. 236-238.
4. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А. Игнатъев, М.В. Виноградов, В.В. Горбунов и др. Саратов: СГТУ, 2004. 124 с.
5. Васин М.П. Программное обеспечение микропроцессорного прибора многопараметрового активного контроля / М.П. Васин, А.А. Игнатъев // Перспективные направления развития технологии машиностроения: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2005. С. 72-76.
6. Агеев Ю.В. Микропроцессорные приборы активного контроля / Ю.В. Агеев, И.Б. Карпович, М.И. Этингер // СТИН. 2002. № 4. С. 33-40.
7. Барендрегт Х. Лямбда-исчисление. Его синтаксис и семантика: пер. с англ. / Х. Барендрегт. М.: Мир, 1985. 606 с.
8. Hudak P. Conception, Evolution and Application of Functional Programming Languages / P. Hudak. ACM Computing Surveys. 1989. Vol. 21. № 3. P. 359-411.

**Васин Максим Павлович –**

аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

**Горбунов Владимир Владимирович –**

кандидат технических наук,  
главный менеджер по наукоемким проектам отдела главного технолога  
ОАО «Саратовский подшипниковый завод»

**Игнатъев Станислав Александрович –**

кандидат технических наук,  
ассистент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 658.012

**А.А. Игнатъев, А.Р. Бахтеев**

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ ШЛИФОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПОДШИПНИКОВ**

*Представлены принципы организации автоматизированной системы  
мониторинга и управления технологическим процессом производства дета-*



*лей подшипников, предложена методика автоматизированного анализа результатов вихретокового контроля поверхности шлифованных деталей подшипников для распознавания и классификации дефектов.*

**A.A. Ignatyev, A.R. Bahteev**

**POLISHING DETAILS DEFECTS RECOGNITION AUTOMATION  
IN THE SYSTEM OF MONITORING  
OF BEARING PRODUCTION TECHNOLOGICAL PROCESS**

*Principles to organizations of automatic system monitoring and management of technological process of production of details of bearings are presented in this article. The strategy of automatic analysis of results of a vortex-current surface controlling of polishing details of bearings for the recognition and categorizations of defects is given here as well.*

В настоящее время в условиях высокотехнологичного производства (в частности – многономенклатурного) необходимо оперативно решать ряд взаимосвязанных технических и технологических задач, связанных с оценкой технического состояния прецизионного оборудования, автоматизацией измерений, обработкой результатов и формированием воздействий на технологические процессы (ТП), то есть проводить мониторинг ТП [1].

Общее понятие мониторинга, сформулированное А.В. Пушем, включает диагностику, идентификацию, прогнозирование и управление ТП на основе анализа информации, а также принятие решение о корректировке [2]. Автоматизация контроля в системе мониторинга ТП (СМТП) играет важную роль в производстве. В данный момент существует большая номенклатура промышленных средств измерений параметров ТП различного рода, а также имеется возможность переналадки обрабатывающего оборудования, выбора сырья, совершенствования технологии производства. В связи с большим количеством контролируемых параметров и управляющих воздействий в рамках автоматизации производится оснащение промышленных предприятий необходимым технологическим оборудованием, системами контроля качества, современными техническими средствами, такими как промышленные компьютеры, устройства сбора данных и управления, коммуникационное оборудование [3, 4].

Несмотря на значительные успехи в области автоматизации промышленных предприятий, конечным итогом автоматизации на практике, как правило, является создание двух подсистем в рамках АСУ ТП – подсистемы контроля (мониторинга) и подсистемы управления ТП, которые не имеют четкой формализованной связи.

Решения об изменении параметров ТП по результатам его контроля принимаются специалистами на основании знаний, опыта и интуиции. При этом исходные посылки (результаты контроля) в некоторых случаях могут интерпретироваться субъективно, особенно в случаях, где в явном виде неприменимы количественные оценки. В качестве примера можно привести вихретоковый метод контроля, который широко применяется в промышленности (в частности в ОАО «Саратовский подшипниковый завод») при контроле и мониторинге качества деталей подшипников [5, 6, 7].

Для организации контроля ТП производства подшипников в ОАО «Саратовский подшипниковый завод» потребовались разработка способа мониторинга и внедрение новых автоматизированных технических средств – виброизмерительного комплекса и приборов вихретокового контроля. Реализуемый способ заключается в том, что оперативный контроль качества обработки осуществляется автоматизированным вихретоковым методом, позволяющим установить степень неоднородности физико-механических свойств поверхностного слоя шлифованных деталей. При необходимости дополнительно определяются спектр коле-

баний жесткой опоры кольца и спектры колебаний шпиндельных узлов шлифовальных станков. Совместный анализ вихрековых образов обработанных деталей и спектров колебаний жесткой опоры и шпинделей позволяет оценить качество поверхностного слоя деталей и причины его отклонений и, в другом случае, оценить уровень вибраций и влияние их на качество поверхностного слоя при различных условиях шлифования [1, 8, 9].

Весь комплекс средств автоматизации мониторинга ТП, производства деталей подшипников, применяемый в ОАО «Саратовский подшипниковый завод», можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 1.

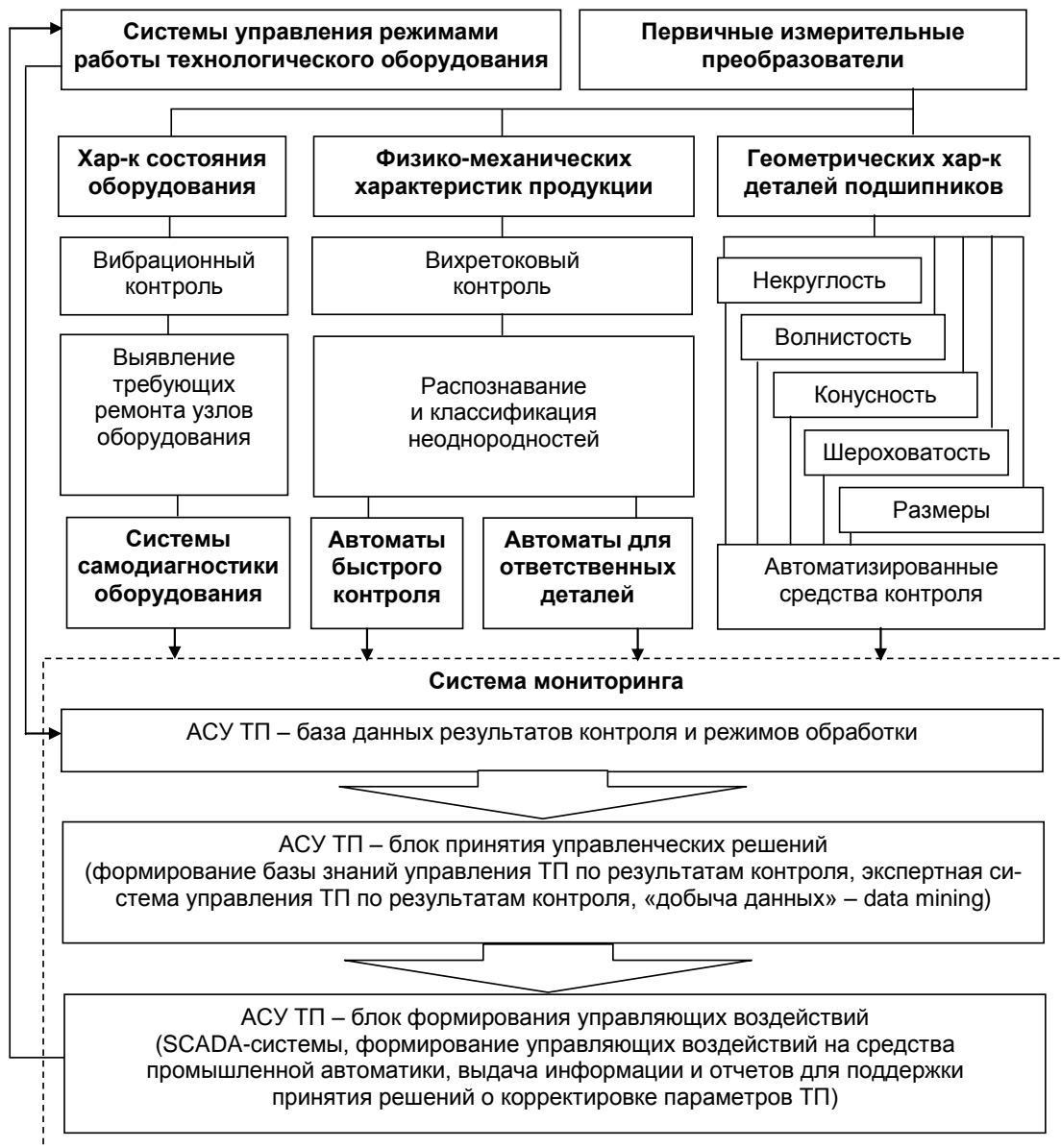


Рис. 1. Мониторинг технологического процесса производства деталей подшипников

Паспортизация по динамическим характеристикам и периодический контроль технологического оборудования (ТО) обеспечивают обслуживающий персонал достоверными данными об изменении его динамического состояния. Современные переносные компьютерные системы для измерения и анализа вибрации, не требующие встраивания измерительных датчиков в ТО, позволяют организовать его обслуживание и ремонт по фактическому состоянию. Эти системы предотвращают поломки и простои ТО, предупреждают выпуск бракованной продукции на оборудовании, теряющем технологическую надежность.

Идентификация дефектов деталей подшипников вихретоковым методом позволяет выявлять поверхностные и подповерхностные дефекты изделий и служит основой для СМТП. Выявление, распознавание и классификация дефектов позволяет исключить попадание к потребителям бракованных изделий, что особенно важно при производстве авиационных, железнодорожных и некоторых других видов подшипников. В настоящее время анализ дефектов проводят специалисты. Разработка автоматизированной системы распознавания, которая проводится в настоящее время, позволит исключить субъективные оценки, повысить качество контроля, а также автоматически сохранять информацию и использовать эти данные в общей системе мониторинга.

Методика выявления, распознавания и классификации дефектов при вихретоковом методе контроля сводится к следующему:

1. Определение диапазона допустимых значений сигнала вихретокового преобразователя (ВТП) (для фазового и амплитудного канала) для данного вида деталей подшипников;
2. Выявление отклонения сигнала ВТП в точке поверхности контролируемой детали из диапазона допустимых значений сигнала ВТП (для фазового и амплитудного каналов);
3. Выявление характера изменений сигнала ВТП в точке поверхности контролируемой детали;
4. Выявление и разделение зон неоднородностей на поверхности контролируемой детали, имеющих одинаковый характер изменений сигнала ВТП;
5. Определение зон неоднородностей, характерных для каждого типа дефектов (трещин, прижогов, напряженностей, металлических обеднений, затиров, деформаций и др.);
6. Выявление типичных дефектов путем объединения зон неоднородностей, характерных для этих дефектов;
7. Выбраковка деталей на основании характера изменений сигнала ВТП в зоне дефекта, типа выявленного дефекта и их площади.

Путем проведения замеров на автоматизированной системе вихретокового контроля ПВК - К2М установлены граничные значения для диапазона допустимых значений сигнала фазового и амплитудного каналов [1, 10]. Характер изменения сигнала ВТП был определен в зависимости от характера отклонений сигналов от установленных граничных значений.

В зависимости от геометрических характеристик неоднородности были отнесены к одному из классов: «фигурные» неоднородности; «прямоугольные» неоднородности; «круглые» неоднородности; «выпуклые» неоднородности (рис. 2).

Классификация зон проводилась на основании ряда параметров неоднородностей, значения которые вычислялись автоматически с помощью специально разработанного программного обеспечения. Этими параметрами являлись – площадь неоднородности ( $S_0$ ); выпуклая площадь – площадь выпуклой фигуры, в которую вписана неоднородность ( $S_v$ ), площадь ограничивающего прямоугольника ( $S_p$ ); периметр области неоднородности ( $P$ ); ориентация – угол в градусах между максимальной осью инерции и осью X ( $\alpha$ ). Характеристики показанных на рис. 2 выявленных неоднородностей приведены в таблице.

Решающие правила классификации по геометрическим признакам входят в базу знаний экспертной системы, с помощью которой классификация проводилась. Структура логического вывода описанной части экспертной системы отображена на рис. 3.

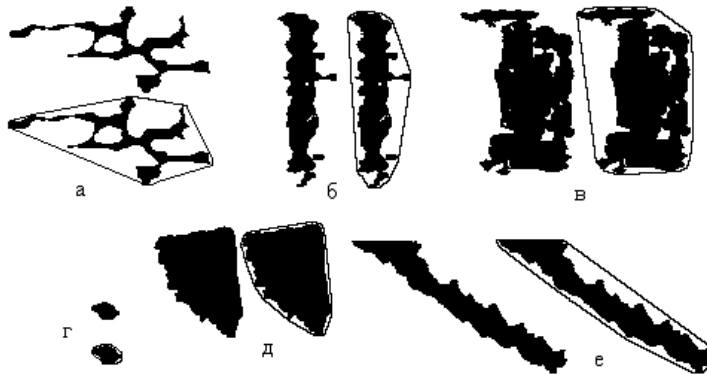


Рис. 2. Образы выявляемых дефектов: а – «фигурная» неоднородность (сетка трещин); б, в, е – «прямоугольные» неоднородности (напряженность, металлическое обеднение); г – «круглая» неоднородность (забоина), д – «выпуклая» неоднородность (полоса натиря)

Геометрические характеристики дефектов

Неоднородность	$K_1 = \frac{S_0}{S_v}$	$K_2 = \frac{4\pi \cdot S_0}{P^2}$	$K_3 = \frac{S_0}{S_p}$	$\alpha$
«Фигурная» (рис. 2, а)	0.3034	0,066	0.1854	–
«Прямоугольная» (рис. 2, б)	0.5879	0,217	0.4389	90.681
«Прямоугольная» (рис. 2, в)	0.6631	0,301	0.5726	94.206
«Круглая» (рис. 2, г)	0.8837	0,912	0.6667	–
«Выпуклая» (рис. 2, д)	0.9142	0,733	0.6396	–
«Прямоугольная» (рис. 2, е)	0.6682	0,203	0.2034	-33.142

Анализ результатов вихретокового контроля показал, что область уменьшения амплитуды и фазы сигнала ВТП, как правило, является образующим элементом дефекта, и в большинстве случаев позволяет идентифицировать дефект. В случае, если при уменьшении амплитуды и фазы сигнала ВТП неоднородности дефект определяется, то проводится связывание граничащих неоднородностей – выявляется дефект целиком. Таким образом, успешно распознаются прижоги, забоины, трещины. В случае увеличения амплитуды сигнала ВТП на фоне уменьшения фазовой составляющей выявляются металлические обеднения, трооститные пятна, в случае уменьшения амплитуды сигнала ВТП на фоне увеличения фазовой составляющей выявляются – металлические, термические обеднения, натиря, напряженности. Для связывания областей и идентификации дефектов целесообразно применять экспертные системы и генетические алгоритмы.

В качестве данных для проверки модели классификации на основе экспертной системы были взяты визуализированные данные вихретокового контроля 26 деталей буксовых подшипников, имеющих различные виды неоднородностей. При проведении анализа 26 результатов вихретокового контроля наиболее успешно были идентифицированы пятнистые и столбчатые прижоги, забоины, напряженные состояния поверхностного слоя. В настоящий момент продолжается работа, направленная на совершенствование модели в плане использования новых характеристик и улучшение решающих правил, построение решающих правил для остальных типов дефектов, оптимизацию алгоритмов.

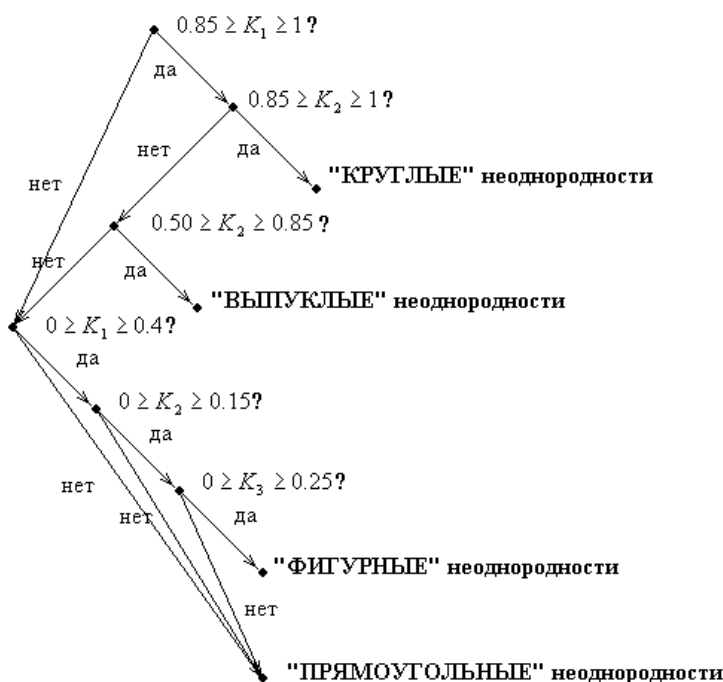


Рис. 3. Структура логического вывода экспертной системы

После анализа информации все характеристики ТО, параметры изделий и другие данные фиксируются в базе данных результатов контроля ТП и используются при анализе экспертной системой:

- для построения зависимостей, связывающих значения показателей, характеризующих режим работы ТО (скорость резания и подачи), с характеристиками его состояния;
- для поиска связей параметров обрабатываемых деталей с характеристиками состояния ТО;
- для получения рекомендаций по управлению ТП.

На основе сопоставительного анализа данных о состоянии ТП и качестве колец подшипников оцениваются степень и возможные причины разладки технологической системы на конкретном станке, и при негативных результатах производится его подладка или ремонт. В случае применения современного оборудования корректировка режимов производства и обработки деталей подшипников может проводиться в автоматическом или полуавтоматическом режиме.

Предложенная методика автоматизированной идентификации дефектов деталей подшипников для СМТП позволяет создать единый комплекс АСУ ТП, перевести управление ТП на качественно новый уровень, объединить подсистемы контроля и управления ТП, охватить большой объем выборки контролируемых изделий и снизить себестоимость контроля качества продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А. Игнатъев, М.В. Виноградов, В.В. Горбунов и др. Саратов: СГТУ, 2004. 124 с.

2. Пуш А.В. Моделирование и мониторинг станков и станочных систем / А.В. Пуш // СТИН. 2000. № 9. С.12-20.
3. Воронцов Л.Н. Приборы для автоматического контроля размеров в машиностроении / Л.Н. Воронцов, С.Ф. Корндорф. М.: Машиностроение, 1988. 280 с.
4. Маклаков А.В. Система менеджмента качества компании «Фаствел» / А.В. Маклаков // Современные технологии автоматизации. 2004. № 1. С.74-79.
5. Герасимов В.Г. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий / В.Г. Герасимов, В.В. Ключев, В.Е. Шатерников. М.: Энергия, 1983. 217 с.
6. Дорофеев А.Л. Физические основы электромагнитной структуроскопии / А.Л. Дорофеев, Р.Е. Ершов. Новосибирск: Наука, 1985. 180 с.
7. Игнатъев А.А. Автоматизированная вихретоковая дефектоскопия деталей подшипников / А.А. Игнатъев, А.М. Чистяков, В.В. Горбунов // СТИН. 2002. № 4. С. 17-19.
8. Горбунов В.В. Управление технологическим процессом производства подшипников на основе мониторинга технологического оборудования / В.В. Горбунов, А.С. Чечнев, А.А. Игнатъев // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2003. С. 77-80.
9. Мониторинг качества изготовления изделий прецизионного машиностроения / А.А. Игнатъев, В.А. Иващенко, В.В. Горбунов и др. // Высокие технологии – путь к прогрессу: сб. науч. тр. Саратов: Научная книга, 2003. С. 179-186.
10. Бахтеев А.Р. Автоматическое выявление и классификация дефектов деталей подшипников на основе данных вихретокового контроля / А.Р. Бахтеев // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2005. С. 14-17.

**Игнатъев Александр Анатольевич –**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

**Бахтеев Андрей Ринатович –**

аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»  
Саратовского государственного технического университета

---

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

---

УДК 004.3

**В.А. Ушаков, В.С. Дрогайцев**

### **ФОРМАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ НА ЗНАНИЯХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ И РАЗВИТИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Рассматривается возможный подход к структурной организации систем, основанных на знаниях, для ситуационного управления производственной деятельностью и развитием промышленных предприятий.*

**V.A. Ushakov, V.S. Drogaitsev**

### **THE FORMALIZED APPROACH TO CONSTRUCTION ON KNOWLEDGE OF CONTROL SYSTEMS OF PRODUCTION ACTIVITY AND ENTERPRISES DEVELOPMENT**

*The possible approach to the structural organization of the systems based on knowledge, for situational management of production activity of the industrial enterprises is examined in this paper.*

В настоящее время установилась тенденция роста потребности эффективного использования информационных технологий в процессах управления производственной деятельностью предприятий и процессами проектирования сложной конкурентоспособной продукции с учётом условий и требований всех фаз жизненного цикла образцов изделий, методы и средства обеспечения которых закладываются, главным образом, на стадии проектирования образцов изделий.

Для решения данной проблемы актуальными являются задачи разработки методов и средств анализа и оценки конъюнктуры рынков заказа, потребления и повышения конкурентоспособности создаваемых и серийно выпускаемых образцов изделий, снижения финансовых затрат, сокращения временных циклов проектирования, серийного освоения производства и заданных видов работ в условиях эксплуатации образцов изделий заданного класса, введения принципиально новых способов и средств обеспечения всех фаз жизненного цикла изделий, достижения плановых объёмов прибыли и темпов развития предприятия. Повышенный интерес к приведённым выше задачам обуславливает необходимость комплексного управления производственной деятельностью и развитием предприятия, потребность разработки принципов, моделей, методов и алгоритмов предприятия, методов и средств целевого

построения интеллектуальных систем обеспечения ситуационного управления деятельностью предприятия и процессами проектирования образцов изделий, формальных подходов к целевому комплексированию и оснащению основных видов производств предприятия экспертными информационно-исполнительными и управляющими комплексами (ЭИИУК) и автоматизированными рабочими местами (АРМ), информационно и процедурно адаптированными с системами ERP и PDM.

В работе проблема ситуационного управления деятельностью предприятия и процессами проектирования конкурентоспособной продукции рассматривается на примере предприятия-разработчика класса бортовых систем управления силовыми установками летательных аппаратов, представленного подструктурой проектирования образцов изделий и подструктурой производства опытных и серийных образцов, именуемых далее объектами управления.

В рассматриваемой постановке проблема ситуационного управления решается в рамках задач виртуального предприятия, структура которого определяется составом «заказчик-предприятие-разработчик-предприятие-изготовитель-потребитель».

Рассматриваемые объекты управления характеризуются особенностями: высокая размерность, априорная неопределённость и изменчивость параметров и поведения, большая инерционность.

Образцы изделий заданного класса, определяющие стратегию ситуационного управления деятельностью предприятия, относятся к категории динамических, цифро-аналоговых прецизионных, имеют многоканальную, многопараметрическую структуру и обладают функциями полной ответственности.

В данной постановке методика построения системы ситуационного управления деятельностью и развитием предприятия определяется тремя разделами: формирование частных и конечных целей, достигаемых в рамках предметной области, обоснование видов моделей описания заданных подструктур предприятия, образцов изделий, средств понижения размерности моделей и критериев оценки степени соответствия процессов функционирования подструктур требованиям календарного расписания; построение автономных интеллектуальных систем поддержки процессов достижения поставленных целей и синтез структуры и состава элементов нейросети системы.

Актуальность создания систем на основе знаний определяется необходимостью решения совокупности взаимосвязанных задач:

- выявление на ранних этапах развития аномальных явлений («слабых мест») в производственной деятельности предприятия, их идентификация и распознавание причин;
- приоритетное ранжирование по технико-экономической значимости для предприятия альтернативных заказов на разработку новых и воспроизводство серийных образцов изделий, соответственно, направленное управление конъюнктурой рынков заказа и потребления;
- целенаправленное перераспределение по результатам установления слабых мест производственных, финансово-экономических, кадровых ресурсов предприятия в пределах сроков календарного расписания заданных видов работ с учётом принятых приоритетов;
- повышение конкурентоспособности изделий, сокращение временных циклов и снижение финансовых затрат на всех этапах жизненного цикла образцов за счёт использования интеллектуальных систем и экспертных информационно-управляющих комплексов их реализации, обеспечивающих повышение уровня наблюдаемости и управляемости процессов и своевременной идентификации негативных явлений в деятельности предприятия, в проектируемых и воспроизводимых образцах изделий;
- обоснование по результатам анализа деятельности предприятия и процессов проектирования и воспроизводства изделий корректирующих мер по развитию научно-технического потенциала, производственных и кадровых ресурсов с учётом намерений, возможностей и действий конкурирующих фирм и тенденций совершенствования аналогов изделий на мировом рынке.



Исходными составляющими (данных и знаний) процесса управления деятельностью предприятия являются: структурная организация подразделений предприятия и функциональные отношения между ними, перечень потенциальных заказов на разработку новых и воспроизводство серийных образцов изделий, календарные расписания (планы) на разработку новых и воспроизводство серийных образцов изделий, этапы проектирования и производства образцов изделий, кадровый (людской) потенциал и производственные ресурсы предприятия, технические задания и техническая документация на образцы изделия, структура производственных отношений между производством проектирования и опытным производством, объёмы финансирования и сроки исполнения потенциальных заказов.

В данном случае на средства структурной организации системы и методику построения автономных интеллектуальных систем распространены условия:

- открытость структуры системы к развитию и модернизации в процессах адаптации к проблемным задачам ПО в режимах обучения и самообучения;
- соблюдение принципа единства методического, метрологического, программного обеспечений и аппаратных средств на всех уровнях структуры предприятия и фазах жизненного цикла образцов изделий заданного класса;
- совместимость программных продуктов системы с системами PDM и ERP;
- управляемость пользователем формализованных методов и алгоритмов достижения частных и конечных целей ПО в части достоверности принимаемых решений и формализуемых системой управлений;
- возможность использования средств интеллектуальных систем в процессах формирования отказоустойчивых алгоритмов функционирования образцов изделий в условиях нештатных ситуаций в их поведении;
- совместимость формальных механизмов принятия управленческих решений с механизмами обеспечения эксплуатации образцов изделий по техническому состоянию;
- удовлетворение требованиям централизованного и децентрализованного управления производственной деятельностью предприятия и функциональных подструктур (видов производств).

Предметная область ситуационного управления деятельностью предприятия и проектированием образцов изделий заданного класса описывается моделью вида кортежа составляющих

$$M_{ПО} = \langle M_{ОУ}, M_{ПЗ}, Э, P, \Phi, ПЗ, T, R, K, H, П, I_N, L, A, N, D, F \rangle, \quad (1)$$

где  $M_{ОУ}$  – модели описания объекта управления и образцов изделий;  $M_{ПЗ}$  – модели описания проблемных задач ПО;  $Э$  – характерные особенности этапов проектирования и производства образцов изделий;  $P$  – ранжированный перечень заказов, реализованных предприятием;  $\Phi$  – перечень характерных факторов, отражающих требования всех фаз жизненного цикла образцов изделий класса;  $ПЗ$  – перечень частных и конечных целей, достаточных в рамках проблемных задач ПО;  $T$  – перечень механизмов вывода и правил автономных интеллектуальных систем поддержки решений проблемных задач ПО;  $R$  – перечень базовых показателей производственных ресурсов предприятия;  $K$  – перечень критериев количественной и качественной оценки соответствия процессов функционирования предприятия и технических характеристик образцов изделий заданным требованиям;  $H$  – допустимый перечень аномальных состояний (нештатных ситуаций) в деятельности предприятия и поведении образцов изделий;  $П$  – допустимый перечень причин аномальных состояний;  $I_N$  – перечень формальных процедур интерфейса пользователя;  $L$  – перечень путей нейтрализации аномальных состояний и развития предприятия;  $A$  – перечень формальных процедур, реализуемых экспертными информационно-испытательными и управляющими комплексами и средствами автоматизированных рабочих мест, определяющих функциональные возможности нейросетевой системы;  $N$  – перечень базовых элементов структуры модели нейросети системы;  $D$  – перечень показателей директивных маршрутов обеспечения работ в данных производствах, отражаю-

щих содержание календарных расписаний (планов);  $F$  – перечень финансово-экономических потоков в структуре объекта.

Технология управления деятельностью предприятия и развитием предприятия базируется на принципе информационно-аппаратной избыточности и чувствительности поведения предприятия и образцов изделий к аномальным ситуациям, вызванным внутренними и внешними воздействующими факторами. При этом, концепция управления представляет собой некоторую совокупность параллельно-последовательно протекающих процессов, определяемых этапами проектирования и производства, изменениями внешней среды, обусловленной структурной организацией рынков заказа и потребления, архитектурой функциональных подструктур (подразделений предприятия), методами и средствами анализа их состояния в реальном времени.

В работе стратегия ситуационного управления деятельностью предприятия определяется решением укрупнённых задач:

- описание моделями объекта управления и процессов, отражающих этапы проектирования, производства и эксплуатации изделий заданного класса;
- оценка конъюнктуры рынков заказа и потребления;
- прогнозирование возможного поведения объекта управления в условиях неопределённости производственных ситуаций (в том числе нештатных) и рыночных отношений;
- обоснование перечня значимых показателей и критериев количественной экспертной оценки степени соответствия режимов функционирования объекта (образца изделия) заданным требованиям;
- оценивание достаточности производственно-экономических, финансовых ресурсов и научно-технического потенциала обеспечения заданного перечня заказов;
- целевое комплексирование по модульному принципу экспертных информационно-испытательных и управляющих комплексов практической реализации алгоритмов функционирования
  - обоснование методов, моделей и алгоритмов решения проблемных задач ПО;
  - формирование управляющих решений по удержанию в заданных пределах требуемого уровня эффективности производственно-экономической деятельности и темпов развития предприятия;
  - формирование управляющих решений, обоснование путей и средств их реализации по переводу предприятия из нештатных ситуаций в требуемые при заданных или ограниченных производственных ресурсах с минимальными потерями в прибыли;
  - установление «узких мест», обоснование путей и средств, формирование рекомендаций по развитию производственных мощностей в условиях динамики рынков заказа и потребления и сохранения тенденции роста конкурентоспособности образцов изделий заданного класса.

Технико-экономическая целесообразность использования интеллектуальных систем в цепях обратной связи, контуров управления предопределяется факторами:

- потребность обоснованного выбора и реализации в реальном времени требуемых маршрутов активных действий, направленных на поиск путей стабилизации производственной деятельности предприятия;
- необходимость мотивации постановки новых целей в управлении деятельностью и развитием предприятия, обусловленных изменениями конъюнктуры рынков заказа и потребления, намерениями, возможностями и действиями конкурирующих фирм;
- потребность широкого использования ИПИ-технологий на всех фазах жизненного цикла образцов изделий заданного класса;
- целесообразность создания образцов данного класса на основе знаний;
- технико-экономическая целесообразность учёта в процессах управления большого количества разнородных факторов и субъективного их характера;

– дефицит и неопределённость информации о динамике внешней среды и внешнего мира, оказывающих негативное влияние на процессы проектирования и производства образцов изделий.

Для описания образцов изделий данного класса в проблемных задачах, связанных с оценкой степени совершенства проектных решений, соответствия технических характеристик требованиям ТЗ и ТУ и подтверждения показателей качества и надёжности, используется модель вида дифференциальных и алгебраических уравнений. Этот вид модели используется, главным образом, на ранней стадии проектирования образца изделия, в процессах планирования испытаний, анализа законов функционирования и технических характеристик образца и в процедурах понижения размерности структуры модели путём её декомпозиции.

В качестве основного вида модели принят направленный логический полихроматический граф [1] в котором каждая вершина и ребро могут быть окрашены одновременно в несколько цветов, что позволяет описывать и обрабатывать заданное подмножество свойств многофункциональных составных компонентов и связей в структуре описываемого объекта управления или образца изделия. При этом цвет отнесён к категории свойств модулей и функциональных подструктур, для которых используется единое понятие – контур. В структурном плане данный вид модели имеет вид

$$PG = (B, E, F(B), F(E), [B \times F(B)], [B \times F(E)], \Theta) , \quad (2)$$

где  $B$  – конечное подмножество вершин, отождествляемое с элементами декомпозиции модели объекта;  $E$  – конечное подмножество рёбер (дуг), отождествляемое с элементами информационных путей в структуре модели от входа к выходу;  $F(B)$  – подмножество контуров (цветов, раскрасок) заданных вершин, отражающих их свойства;  $F(E)$  – подмножество контуров заданных рёбер, отражающих характерные особенности и свойства связей (информационных путей);  $B \times F(B)$  – булева матрица контуров, определяющая раскраску задействованных вершин структуры модели;  $E \times F(E)$  – булева матрица контуров, определяющая раскраску задействованных рёбер графа;  $\Theta = \overline{1, n}$  – перечень условий и ограничений на логику взаимосвязей элементов информационных путей и функций элементов декомпозиции структуры моделей объекта.

Выбор данного вида модели обусловлен рядом положительных качеств: возможность совмещения в рамках единой структуры структурно-конструктивной функциональной, стоимостной и временной модели описания подструктур предприятия и образцов изделий; модели соответствующих подструктур и образцов изделий строятся по данным, представленным структурной организацией функциональных подразделений предприятия и технической документацией на образец изделия с учётом априорных данных и знаний, соответственно, могут быть достигнуты при построении с требуемой полнотой описания и адекватности модели объекту или процессу; разрешается задача построения многоуровневой структуры объекта; структура модели обладает наглядностью, формальные процедуры понижения её размерности и анализа состояний объекта поддаются машинизации.

Применительно к принятой стратегии управления деятельностью предприятия задача декомпозиции исходной структуры модели регламентируется результатами приоритетного ранжирования заказов; фактическими возможностями научно-технического и производственного потенциала предприятия и результатами его распределения; структурной организацией и содержанием календарного расписания выполнения работ предприятием и формами отчётности. Задача эта решается с учётом минимизации взаимовлияния подзадач управления функциональными подструктурами объекта и организации согласованных взаимодействий управления в рамках виртуального предприятия. При этом, в качестве базового элемента декомпозиции принят проект нового или воспроизводимый образец изделия, структура модели которого представляется соответствующей иерархией составных элементов декомпозиции. Механизм выявления информационно и функционально значимых элементов декомпозиции рассмотрен в работе [2].

В рамках проблемных задач данной предметной области возможный вариант нештатных ситуаций и их причин, дестабилизирующих производственную деятельность предприятия, определяется понятиями:

1. В объёме задач подструктуры проектирования новых образцов изделий: несоответствие технических характеристик образца изделия и его составных компонентов требованиям ТЗ и ТУ; низкий уровень аппаратных, алгоритмических и программных решений образца изделия; несоответствие текущего финансово-экономического обеспечения плановым объёмам работ; низкий уровень организации выполнения работ и наличие элементов дезорганизации со стороны вышестоящих инстанций; несовершенство календарного расписания выполнения заданных объёмов работ; низкий уровень квалификации специалистов-разработчиков; несовершенство элементной базы и материалов; несогласованность сроков окончания видов работ, выполняемых различными подразделениями (творческими группами); требования показателей конкурентоспособности образцов изделий превышают возможность разработчика; ошибки в результатах оценки конъюнктуры рынков заказа и потребления; дефицит в кадровых ресурсах, в объёмах и номенклатуре средств оснащения рабочих мест; несовершенство (ограниченность) ИПИИ-технологий, используемых непосредственно в проектируемых образцах и в процессах проектирования; несоответствие сроков окончания планового перечня объёмов работ календарному расписанию.

2. В рамках подструктуры опытного производства экспериментальных, опытных и серийных образцов изделий заданного класса: несоответствие темпов производства срокам календарного расписания (плана); несоответствие состава и мощностей технологического оборудования установленным объёмам выпуска образцов продукции; несоответствие технических характеристик производственного оборудования требованиям технических условий на образцы изделий; выпуск некондиционных деталей, элементов конструкций, сборочных единиц и в целом образцов изделий; низкий уровень квалификации рабочих и руководящего персонала; несовершенство проектных решений образцов изделий; издержки в авторском сопровождении (надзоре) образцов изделий со стороны разработчика; низкий уровень адаптации между собой и к условиям производства ИПИИ-технологий.

Приведённые положения и факторы входят в исходный состав данных и знаний, являются разрешимыми экспериментальным путём на стадии построения экспериментально-исследовательских вариантов интеллектуальных систем (этап обучения) и составляют исходную основу моделей и методов оценки степени соответствия производственной деятельности предприятия; обнаружения идентификации нештатных ситуаций в поведении предприятия и распознавания причин их появления.

В рассматриваемой постановке стратегия ситуационного управления деятельностью и развитием предприятия определяется содержанием баз данных и знаний интеллектуальных систем, включающих методы, модели и алгоритмы решения задач: синтез структуры и состава аппаратных элементов наблюдателя векторов состояния подпроизводств проектирования и векторов состояния образцов изделий; оценивание степени соответствия темпов проектирования и производства образцов изделий заданным календарным расширениям (планам); обнаружение, идентификация (диагностирование) нештатных ситуаций в поведении подструктур производства и образцов изделий; распознавание причин нештатных ситуаций и формирование механизмов правил и управляющих решений по стабилизации процессов функционирования предприятия.

В методическом обеспечении построения аппаратно-программных средств управления деятельностью предприятия показатели финансово-экономической составляющей деятельности предприятия, представляющие автономную проблему в формальных механизмах решения проблемных задач данной предметной области, используются в качестве исходных данных и на них не распространяются формализованные процедуры ситуационного управления.

В качестве средств, регламентирующих формальные процедуры количественной оценки степени соответствия процессов проектирования и производства заданным показателям и технических характеристик образцов изделий требованиям ТЗ и ТУ, используются критерии:

1. Критерий обнаружения явных несоответствий (нештатных ситуаций) в образцах изделий заданного класса

$$K_H^i = \begin{cases} 0, & \text{при } Y_{i\min} \leq \hat{Y}_i \leq Y_{i\max} \\ 1, & \text{при } Y_{i\min} > \hat{Y}_i > Y_{i\max} \end{cases} \Big|_{\{W_j\}, \{\pi_d\}, \{Q_h\}}, \quad (3)$$

где  $i = \overline{1, m}$  – число координат вектора состояния;  $\pi_d, d = \overline{1, 2, \dots}$  – число элементарных экспериментов последовательности ( $\pi_d \in \Pi$ );  $W_j, j = \overline{1, P}$  – число факторов внешней среды или их сочетаний;  $Q_h, h = \overline{1, 2, \dots}$  – число допустимых штатных ситуаций.

2. Критерий обнаружения скрытых (потенциальных) штатных ситуаций в поведении объекта

$$K_{H,l}^q = K_{H,l}^q = \left[ \frac{\left( \hat{Y}_{i\max}^q - Y_{iH}^q \right)}{\Delta Y_{i\max}^q} + \frac{\left( Y_{iH}^q - \hat{Y}_{j\min}^q \right)}{\Delta Y_{j\min}^q} \right] / 2 > \beta \Big|_{\{W_g\}, \{\pi_d\}, \{Q_h\}}, \quad (4)$$

где  $\Delta Y_l^q = \{|Y_{l\max} - Y_{lH}|, |Y_{l\min} - Y_{lH}|\}$  – граничные значения допусковой зоны  $l$ -го параметра ( $l = \overline{1, m}$ );  $\beta$  – пороговый уровень деградации  $l$ -го параметра при  $i \neq j$  измерениях;  $\hat{Y}_r$  – регистрируемый наблюдателем параметр состояния выхода;  $W_g, g = \overline{1, n}$  – число факторов внешней среды.

3. Критерий обнаружения необратимых аномальных явлений (процессов)

$$K^q(W_{cr}, R_{cr}) = \left\{ \left[ \hat{Y}_1^j(W_{cr}, R_{cr}) - Y_0^j(W_n, R_n) \right] + \sum_{i=1}^{L-1} \left[ \hat{Y}_2^j(W_{cr}, R_{cr}) - \hat{Y}_1^j(W_{cr}, R_{cr}) \right] \right\} / \Delta^j > \alpha^j \Big|_{\{W_p\}, \{\pi_d\}, \{Q_h\}}, \quad (5)$$

где  $\Delta^j = \min \{|Y_{\max}^j(W_{cr}, R_{cr}) - Y_n^j(W_n)|, |Y_{\min}^j(W_{cr}, R_{cr}) - Y_n^j(W_n)|\}$  – минимальная допусковая зона  $j$ -го параметра;  $i = \overline{1, L}$  – число измерений  $j$ -го параметра;  $\alpha^j$  – допустимый пороговый уровень достаточного эффекта регулируемого  $j$ -м параметром.

4. Критичный критерий эффективности функционирования предприятия (подструктуры), отрицающий суммарные потери [3]

$$X_N^T S X_N + \sum_{k=1}^N (X_k^T H X_k + U_k^T R U_k), \quad (6)$$

где  $H, S$  – симметричные неотрицательно определённые матрицы;  $R$  – симметричная положительно определённая матрица;  $N$  – число интервалов дискретизации. Критерий отражает составляющие отклонения сбытовой подструктуры предприятия. Каждой составляющей присваивается весовой коэффициент  $\lambda^i$ , набор которых отражает структуру предприятия лиц, принимающих управленческие решения.

Для приведения всех слагаемых в критерии к одной шкале используется стоимостная оценка каждого слагаемого. При этом элементы матриц  $R, H, S$  служат коэффициентами пе-

ревода в денежные единицы тех единиц, в которых измеряются соответствующие им переменные состояния и управления.

В состав критерия включены слагаемые:

– слагаемое максимизации конечного значения прибыли

$$\lambda^0 (X_N^1 - M)^2, \quad (7)$$

где  $X_N^1$  – чистая конечная прибыль;  $M$  – плановая прибыль;

– слагаемое, отражающее отклонение требований на поставку образцов изделий от заданных требований и условий, сложившихся в производстве

$$\lambda^1 \alpha \left( \frac{X_K^0}{P^1} - X_K^1 \right)^2, \quad (8)$$

где  $P^1$  – время оформления требований на производстве (например, неделя, месяц);  $\alpha = (P^2 T)^2$  – квадрат удельного дохода от единицы изделия за период дискретизации  $T$ ;  $P^2$  – цена единицы изделия (денежные единицы);  $X_K^1$  – требования к производству (темп) со стороны заказчика на поставку образцов изделий.

Центральными звеньями в структуре аппаратных средств системы являются эталонные модели объекта управления и образцов изделий заданного класса, составляющие основу формальных процедур регламентирования ситуационного управления деятельностью предприятия, как средство процедурного и информационного обеспечения практической реализации формальных методов и алгоритмов решения проблемных задач ПО.

В методике построения эталонной модели объекта принята объектно-операционно-ориентированная концепция, базируемая на декларативно процедурных знаниях, в основу которых положены физические объекты, процессы, операции, методы и алгоритмы достижения частных и конечных целей, определяемых заданным перечнем проблемных задач предметной области.

Процессу построения эталонных моделей предшествует этап параметрической и структурной идентификации объекта и образцов изделий заданного перечня, на стадии которого в режиме обучения интеллектуальных систем устанавливаются закономерности процессов функционирования объекта (изделий), причинно-следственные связи между переменными соответствующих моделей и числовые значения характерных координат переменных в параметрическом пространстве.

Процесс структурной идентификации объекта управления базируется на методах и средствах декомпозиции структуры модели объекта и построения иерархической структуры глобальных и локальных контуров управления. При этом каждый глобальный контур включает в общем случае совокупность локальных контуров и строится применительно к базовому элементу декомпозиции структуры модели объекта, представленного проектом нового или воспроизводимого образца изделия.

В силу условий неопределённости трудно формализуемого описания непредвиденных, в том числе, нестандартных ситуаций в поведении объекта и дефицита априорной информации, характеризующей деятельность предприятия, является обоснованным введение в цепь интеллектуальной обратной связи каждого контура, представленной наблюдателем, идентификатором, соответствующим набором автономных интеллектуальных систем, лица, принимающего решения (ЛПР), обеспечивающего диалоговый режим формирования управляющих решений.

Механизм управления синтезом эталонной модели объекта управления включает решение совокупности взаимосвязанных задач: оценка конъюнктуры рынков заказа и потребления и приоритетное ранжирование заказов, планируемых к реализации предприятием; обоснование видов, структуры производств и состава базовых операций (работ) обеспечения

планируемых заказов; разработка директивных маршрутов технологических процессов проектирования и производства образцов изделий; распределение и оценка достаточности научно-технического потенциала и производственно-экономических ресурсов предприятия обеспечения заданного перечня заказов; обоснование допустимого подмножества нештатных ситуаций в поведении объекта: установление причинных связей между нештатными ситуациями, их причинами и компонентами векторов состояния объекта и внешней среды; составление календарного расписания обеспечения заданного перечня заказов.

Процесс синтеза структуры и состава компонентов эталонной модели объекта управления и согласования между её составными положениями содержит два укрупнённых этапа: первый этап связан с распределением научно-технического потенциала и производственно-экономических ресурсов предприятия применительно к заданному перечню заказов с учётом их приоритета; на втором этапе составляется календарное расписание (план) выполнения плановых видов операций (объёмов работ), оценивается достаточность производственных ресурсов и выявляются слабые места в производственных возможностях предприятия, определяющих пути его развития.

Формальный механизм распределения и оценки достаточности научно-технического потенциала и производственно-экономических ресурсов каждого проекта или воспроизводимого образца изделия, обладающих высшим приоритетом, регламентируется совокупностью ограничений баланса по времени использования, включаемых в подструктуру проектирования или производства, экспертных информационно-испытательных и управляющих комплексов, автоматизированных рабочих мест и производственного технологического оборудования.

Принятая концепция достижения целей предметной области базируется на реализации формализованных методов решения проблемных задач, информационно-процедурная сущность которых состоит в направленном выборе и исполнении соответствующих маршрутов активных действий в регистрации протоколов наблюдения, в формировании на их основе векторов состояния объекта, внешней среды и принятии обоснованных решений по результатам анализа векторов состояния. При этом оценка уровня соответствия показателей производственной деятельности плановым и обнаружение факторов, дестабилизирующих процессы функционирования предприятия, обеспечиваются в результате многократного наблюдения и регистрации в пространственно-временном представлении компонентов полных векторов состояния объекта средствами адаптивного наблюдателя на заданном интервале времени. Здесь понятие адаптации наблюдателя состоит в добавлении или удалении факторов, представленных свойствами, параметрами и признаками, характеризующими текущую ситуационную обстановку, характерные ситуации предыстории и прогнозируемые ситуации в поведении предприятия в условиях наличия или отсутствия нештатных ситуаций.

В рассматриваемой постановке качество ситуационного управления деятельностью предприятия характеризуется величиной невязки, возрастание которой является следствием отклонения режимов функционирования предприятия от показателей, определяемых эталонной моделью, следствием изменяющихся условий воздействия на объект управления внешней среды и внешнего мира.

Сценарий управления на уровне каждого контура элемента декомпозиции функциональной подструктуры и объекта управления в целом предусматривает разбиение непрерывного времени на временные циклы наблюдения деятельностью  $t_{\mu}$ , в течение которого управляемый показатель считается неизменным, а поведение объекта управления – неуправляемым (свободным) [4].

Переход к дискретному представлению времени, по соображениям использования цифровой техники для обработки информации, состоит в разбиении временного цикла  $t_{\mu}$  на  $q$  шагов  $\Delta t_{\mu}$  согласно зависимостям  $t = \vartheta t_{\mu} + \mu \Delta t_{\mu}$ ,  $h = \mu \Delta t_{\mu}$ , где  $h$  – время цикла  $h = [0, t_{\mu}]$  – номер цикла,  $\mu = 0, 1, 2, \dots, q-1$  – номер шага в цикле.

Практическая реализация процедур адаптации наблюдателя, соответственно, и формирования полного вектора состояния объекта обеспечивается в результате выбора и исполнения соответствующих маршрутов активных действий средствами экспертных информационно-испытательных и управляющих комплексов и средствами автоматизированных рабочих мест, объединяемых локальной сетью в рамках структуры предприятия. Здесь под полным вектором состояния объекта, регистрируемым адаптивным наблюдателем в форме протокола наблюдения, принят комплексный (интегральный) вектор, включающий совокупность локальных векторов, характеризующих: внутренние параметры соответствующего образца изделия ( $\{Y_i^g\} \in Y^g$ ); состояние выхода образца изделия ( $\{Y_j\} \in Y$ ); состояние выхода соответствующей силовой установки ( $\{Y_i^s\} \in Y^s$ ); состояние непосредственно объекта управления ( $\{Y_r^p\} \in Y^p$ ); состояние внешней среды (мира) ( $\{Y_k^w\} \in Y^w$ ); состояние процессов обеспечения календарных сроков выполнения заданных видов и объемов работ.

Как возможный вариант, базовый состав проблемных достижений, частных и конечных целей данной предметной области, поддерживаемых автономными интеллектуальными системами, определяется перечнем:

- приоритетное ранжирование заказов на разработку новых и воспроизводство серийных образцов изделий, реализуемых предприятием;
- распределение и оценка достаточности научно-технического потенциала и производственно-экономических ресурсов предприятия обеспечения заданного перечня заказов;
- составление директивных календарных расписаний (планов) обеспечения заданного перечня заказов на уровне подструктур проектирования и производства;
- структурная и параметрическая идентификация объекта управления и образцов изделий заданного перечня;
- обоснование критичных факторов внешней среды и режимов функционирования объекта, негативно влияющих на производственную деятельность предприятия и поведение образцов изделий;
- выявление причинно-следственных связей между переменными описания состояния объекта и допустимым подмножеством нештатных ситуаций в поведении объекта и образцов изделий и агрегирование информационно-значимых параметров (признаков) оценивания степени соответствия производственной деятельности предприятия заданным требованиям и обнаружения допустимого подмножества нештатных ситуаций;
- идентификация (диагностирование) нештатных ситуаций в поведении объекта и образцов изделий;
- распознавание причин нештатных ситуаций и обоснование корректирующих мер по их нейтрализации и развитию производственных ресурсов предприятия;
- целевое комплексирование по модульному принципу экспертных информационно-испытательных и управляющих комплексов, используемых в структуре системы в качестве наблюдателей векторов состояния образцов изделий и элементов наблюдателя векторов состояния производственных подструктур проектирования и производства;
- синтез структуры распределения в подструктурах проектирования и производства экспертных информационно-испытательных и управляющих комплексов и автоматизированных рабочих мест, определяющих состав компонентов векторов состояния подструктур;
- синтез структуры и состава элементов модели нейросети системы;
- построение инженерных вариантов интеллектуальных систем ситуационного управления производственной деятельностью и развитием предприятия.

Наблюдаемый прогресс в области внедрения в производство информационных технологий и средств вычислительной техники разрешает проблему управления по состоянию производственной системы.



ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов В.В. Полихроматические графы и гиперграфы в структурном моделировании систем / В.В. Павлов // Техника, экономика. Сер. Автоматизация проектирования. 1995. Вып. 3-4. С. 30-35.

2. Условия ситуационного управления деятельностью и развитием предприятия / В.А. Ушаков, Е.П. Резник, М.В. Якушев, С.В. Козлов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2004. № 3. С. 3-13.

3. Ширяев В.И. Теория и алгоритмы для идентификации, адаптации и управления фирмой в условиях изменения ситуации на рынке / В.И. Ширяев, И.Я. Головин, В.В. Смолин // Информационные технологии. 2002. № 4. Приложение к журналу. С. 1-24.

4. Герасимчук Ю.Н. Результаты моделирования алгоритмов самоорганизующегося прогнозирующего регулятора / Ю.Н. Герасимчук // Известия РАН. Теория и системы управления. 1998. № 4. С. 157-160.

**Ушаков Виталий Алексеевич** –

кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «КБЭлектроприбор»

**Дрогайцев Валентин Серафимович** –

доктор технических наук,

профессор кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами»

Саратовского государственного технического университета

## **ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

---

УДК 681.586.69:621.3.014

**Н.Н. Беспалов, Ю.М. Голембиовский, М.Н. Байбиков**

### **ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТИРИСТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЫСОКОЙ СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ ТОКА В ОТКРЫТОМ СОСТОЯНИИ**

*Показан один из путей повышения надежности силовых тиристорov, используемых в электрических преобразователях в режимах включения с повышенной скоростью нарастания тока в открытом состоянии.*

**N.N. Bepalov, J.M. Golembiovsky, M.N. Bajbikov**

### **WAYS OF POWER THYRISTORS RELIABILITY INCREASE, USED AT HIGH SPEED OF INCREASE CURRENT IN THE OPEN CONDITION**

*One of the ways to increase the reliability of power thyristors, used in electric converters in modes of inclusion with the raised speed of increase of a current in an open condition is shown here.*

Надежность силовых тиристорov (СТ), используемых в преобразовательных устройствах в режимах включения с повышенными значениями скорости нарастания тока в открытом состоянии  $di_T/dt$ , во многом определяется электрическими и термическими процессами, происходящими в области первоначального включения (ОПВ). Статистика показывает [1], что около 50% всех отказов СТ в электрических преобразователях вызваны термически активируемыми эрозионными процессами в области управляющего электрода (УЭ), возникающими в процессе включения СТ.

Основным путем решения задачи обеспечения надежности СТ, используемых в преобразовательных устройствах при повышенных значениях  $di_T/dt$ , является увеличение тем или иным способом размеров площади ОПВ. При разработке конструкции полупроводникового элемента СТ это достигается за счет конструктивного увеличения периметра УЭ в сочетании с введением регенеративного усиления внешнего тока управления. Однако, величины площади ОПВ конкретных СТ одного типа зависят не только от геометрических размеров УЭ, но и от различных внутренних и внешних факторов, влияющих на процесс формирования включенного состояния [2].

К первым факторам относятся различные технологические нарушения и дефекты полупроводниковой структуры и металлизации в области УЭ, которые существенно влияют на величину площади ОПВ. Технологические нарушения и дефекты определяют и величины

параметров вольт-амперной характеристики (ВАХ) УЭ СТ, которые существенно влияют на процесс формирования в цепи УЭ тока управления.

Ко вторым факторам относятся параметры импульсов тока управления, формируемых драйверами систем управления преобразователей. К этим важнейшим параметрам в первую очередь необходимо отнести амплитуду тока управления  $I_{GM}$  и скорость  $di_G/dt$  его нарастания. Для обеспечения заданной  $di_T/dt$ -стойкости СТ требуется формирование в цепи УЭ импульсов тока управления с оптимальными значениями амплитуды тока управления  $I_{GMOPT}$  и скорости его нарастания  $di_G/dt_{OPT}$ , при которых достигаются максимально возможные размеры площади ОПВ СТ определенного типа. Результаты исследований [2] показывают, что для всех основных типов СТ значения  $I_{GMOPT}$  должны быть не менее 1 А, а  $di_G/dt_{OPT}$  при этом – не менее 1 А/мкс. В справочной литературе [3] рекомендуется применять источники импульсов напряжения с амплитудой  $U_{GM} = 20$  В с добавочными токоограничивающими резисторами  $R_D = 5-10$  Ом в цепи УЭ. Однако при этом не учитываются некоторые факторы, существенно влияющие на процесс формирования тока управления. Результаты наших исследований показывают, что таким фактором является разброс значений параметров ВАХ УЭ, вызванный технологическими отклонениями и изменениями температуры СТ. При разработке преобразователей с целью повышения помехоустойчивости схемы в цепи управления СТ разработчики вводят конденсаторы, шунтирующие УЭ. Существенное влияние на параметры импульса тока управления оказывают длина соединительных линий и величина индуктивности рассеяния  $L_s$  импульсных выходных трансформаторов, а также величина импульсного напряжения, появляющегося на УЭ СТ при его включении в режимах с повышенной  $di_T/dt$ . Это напряжение формируется на свободном от металлизации участке УЭ при протекании через него тока в открытом состоянии с высокой скоростью нарастания. При определенных условиях это обуславливает протекание в цепи УЭ тока обратного направления относительно тока управления. Причем общий ток управления на этапе включения СТ может стать отрицательным по величине. Все это приводит к существенному отличию значений параметров токов управления СТ в эксплуатации от рекомендуемых оптимальных и, соответственно, к дополнительным электрическим потерям в цепи УЭ, которые способствуют возникновению термических процессов деградации полупроводниковой структуры СТ, что существенно снижает надежность СТ и, соответственно, преобразователей на их основе при эксплуатации.

Для обеспечения максимально возможных размеров площади ОПВ СТ в условиях действия различных факторов необходимо определить условия формирования тока управления с оптимальными параметрами при различных схемах драйверов управления.

С целью исследования влияния различных внешних и внутренних факторов на процесс формирования тока управления в СТ проведено моделирование процессов в цепи управления при использовании трансформаторных импульсных источников, реализованных на основе типовой схемы импульсного источника напряжения и предлагаемой схемы импульсного источника тока.

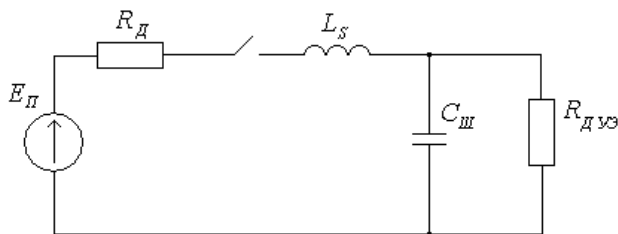


Рис. 1. Эквивалентная схема импульсного трансформаторного драйвера на этапе формирования переднего фронта и амплитуды тока управления

На рис. 1 представлена эквивалентная схема импульсного трансформаторного драйвера, иллюстрирующая процессы формирования тока управления в цепи УЭ на этапе формирования переднего фронта и амплитуды тока управления, где  $E$  – ЭДС источника напряжения;  $R_D$  – токоограничивающее сопротивление, включающее внутреннее сопротивление источника;  $R_{ДВЭ}$  – дифференциальное сопротивление УЭ;  $L_S$  – индуктивность рассеяния импульсного трансформатора;  $C_{Ш}$  – шунтирующий конденсатор.

В обоих рассматриваемых случаях изменение тока через УЭ СТ описывается выражениями:

1) случай аperiодического характера формирования тока в цепи:

$$i_{R_{ДВЭ}} = \frac{E}{R_D + R_{ДВЭ}} + B_1 e^{p_1 t} + B_2 e^{p_2 t} - C_{Ш} p_1 A_1 e^{p_1 t} - C_{Ш} p_2 A_2 e^{p_2 t}, \quad (1)$$

$$\text{где } p_{1,2} = \frac{-(L_S + R_D R_{ДВЭ} C_{Ш}) \pm \sqrt{(L_S + R_D R_{ДВЭ} C_{Ш})^2 - 4 \cdot (L_S C_{Ш} R_{ДВЭ})(R_D + R_{ДВЭ})}}{2L_S C_{Ш} R_{ДВЭ}},$$

$$A_1 = p_2 \frac{E}{p_1 - p_2} \cdot \frac{R_{ДВЭ}}{R_D + R_{ДВЭ}}, \quad A_2 = p_1 \frac{E}{p_2 - p_1} \cdot \frac{R_{ДВЭ}}{R_D + R_{ДВЭ}}, \quad B_1 = \frac{p_2 y + x}{p_1 - p_2},$$

$$B_2 = \frac{p_1 y + x}{p_2 - p_1}, \quad y = \frac{E}{R_D + R_{ДВЭ}}, \quad x = C_{Ш} A_1 p_1^2 + C_{Ш} A_2 p_2^2;$$

2) случай резонансного характера формирования тока в цепи:

$$i_{R_{ДВЭ}} = \frac{E}{R_D + R_{ДВЭ}} + A e^{-at} \sin(bt + \varphi), \quad (2)$$

$$\text{где } a = \frac{(L_S + R_D R_{ДВЭ} C_{Ш})}{2L_S C_{Ш} R_{ДВЭ}}, \quad b = \frac{\sqrt{4(L_S C_{Ш} R_{ДВЭ})(R_D + R_{ДВЭ}) - (L_S + R_D R_{ДВЭ} C_{Ш})^2}}{2L_S C_{Ш} R_{ДВЭ}},$$

$$A = \sqrt{\frac{a^2 E^2 \kappa^2}{b^2} + E^2 \kappa^2}, \quad \varphi = \arcsin\left(-\frac{Ek}{A}\right), \quad \kappa = \frac{1}{(R_{ДВЭ} + R_D)}.$$

В случае применения типовой схемы импульсного источника напряжения моделирование осуществлялось при  $E=25$  В и  $R_D=10$  Ом. Для случая применения схемы импульсного источника тока моделирование производилось при  $E=10^6$  В и  $R_D=10^6$  Ом. В обоих случаях величина емкости шунтирующего конденсатора  $C_{Ш}$  изменялась дискретно от 1 нФ до 1 мкФ. Индуктивность намагничивания  $L_M$  импульсного трансформатора задавалась равной 21 мГн, что соответствует условию формирования тока управления длительностью до 35 мкс. Коэффициент рассеивания  $\sigma = L_S/L_M$  задавался дискретно в пределах от 0,1 до 1%. Дифференциальное сопротивление  $R_{ДВЭ}$  УЭ принималось постоянным и выбиралось равным  $R_{ДВЭ}=1,75$  Ом (ВАХ 1) и  $R_{ДВЭ}=5,75$  Ом (ВАХ 2) на основании данных, представленных в [4].

На рис. 2 представлены некоторые результаты моделирования процесса формирования тока управления для случая применения в драйвере управления СТ импульсного источника напряжения.

Из представленных зависимостей видно, что вариация величин дифференциального сопротивления  $R_{ДВЭ}$  УЭ, информация о которых обычно неизвестна потребителю СТ, и индуктивности рассеяния  $L_S$  трансформатора приводит к существенной зависимости скорости нарастания тока управления  $di_G/dt$ . При этом величины  $di_G/dt$  ниже минимально допустимых значений  $di_G/dt_{\text{опт}}$ .

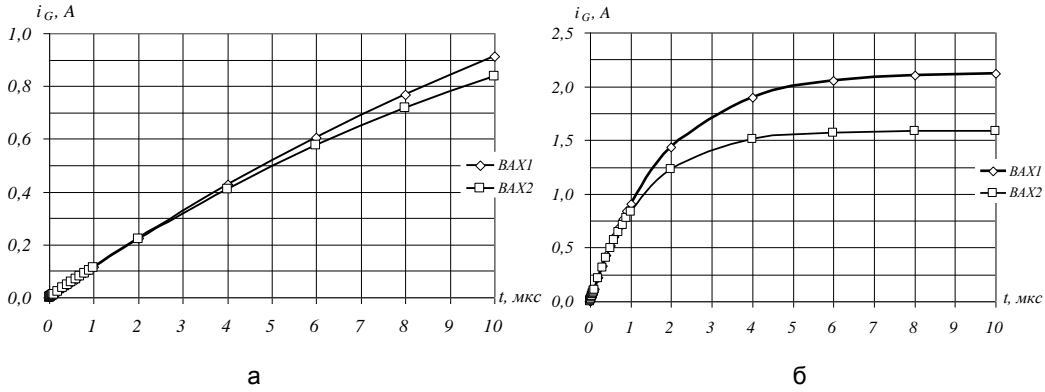


Рис. 2. Временные зависимости тока в УЭ при  $C_{ш}=1 \text{ нФ}$ ,  $\sigma=1\%$  (а) и  $\sigma=0,1$  (б)

На рис. 3 представлены расчетные зависимости скорости нарастания тока управления  $di_G/dt$  от величины емкости шунтирующего конденсатора  $C_{ш}$  при изменении коэффициента рассеивания  $\sigma$  для СТ с разными дифференциальными сопротивлениями  $R_{дУЭ}$  УЭ.

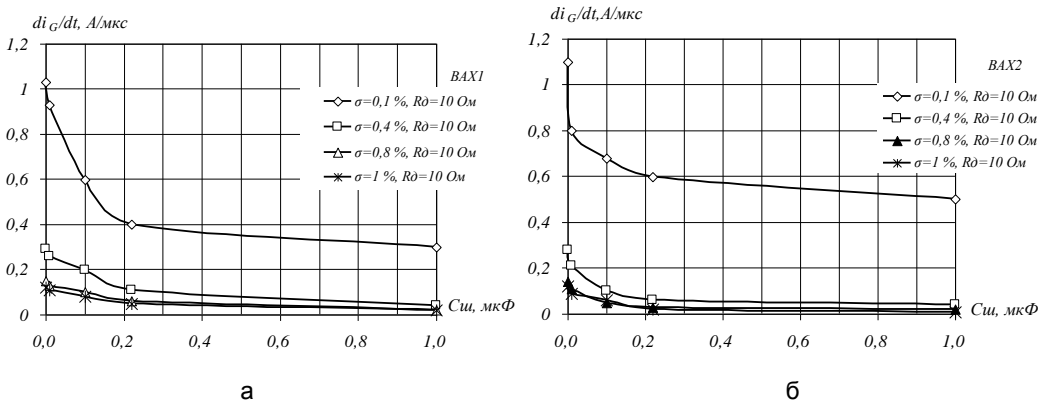


Рис. 3. Зависимости  $di_G/dt$  от  $C_{ш}$  для СТ с BAX 1 (а) и BAX 2 (б) УЭ при различных  $\sigma$

Из графиков рис. 3 видно, что оптимальное значение скорости нарастания тока управления  $di_G/dt_{опт} \geq 1 \text{ А/мкс}$  в обоих случаях возможно получить только при применении импульсного трансформатора с  $\sigma \leq 0,1\%$  и шунтирующего конденсатора с емкостью  $C_{ш} \leq 100 \text{ пФ}$ .

Рассмотрим некоторые результаты моделирования процесса формирования тока управления для случая применения в драйвере управления СТ импульсного источника тока.

На рис. 4 представлены расчетные зависимости скорости нарастания тока управления  $di_G/dt$  от величины коэффициента рассеивания  $\sigma$  при изменении емкости шунтирующего конденсатора  $C_{ш}$  для СТ с разными дифференциальными сопротивлениями  $R_{дУЭ}$  УЭ и при  $I_{GM} = I_{GМОПТ} = 1 \text{ А}$ .

Из графиков рис. 4 видно, что оптимальное значение скорости нарастания тока управления  $di_G/dt_{опт} \geq 1 \text{ А/мкс}$  для всех случаев, кроме случая, когда емкость шунтирующего конденсатора  $C_{ш}$  превышает  $0,1 \text{ мкФ}$ . Однако при этом, если на этапе нарастания тока управления формировать ток со значительно большей амплитудой, то также возможно обеспечить оптимальное условие по скорости нарастания –  $di_G/dt_{опт} \geq 1 \text{ А/мкс}$ . При этом скорость нарастания

тания тока  $di_G/dt$  не зависит от коэффициента рассеивания  $\sigma$  импульсного трансформатора, что упрощает его конструкцию.

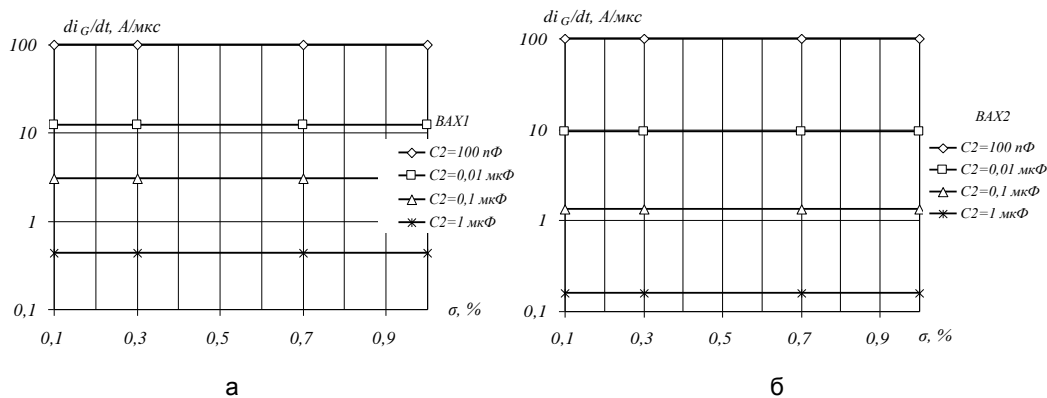


Рис. 4. Зависимости  $di_G/dt$  от  $\sigma$  для СТ с ВАХ 1 (а) ВАХ 2 (б) УЭ при различных  $C_{ш}$  при применении источника тока

Таким образом, в результате исследования определено, что при применении трансформаторных драйверов управления СТ на основе импульсного источника напряжения в условиях вариации различных параметров цепи управления и ВАХ УЭ, наблюдается существенная вариация параметров тока управления. При этом трудно обеспечить оптимальные величины параметров тока управления  $I_{GMopt} \geq 1$  А и  $di_G/dt_{opt} \geq 1$  А/мкс. Напротив, применение драйверов на основе источника тока позволяет относительно просто решить задачу оптимизации параметров тока управления СТ в условиях действия многих факторов.

Для обеспечения требуемых параметров тока управления нами предлагается выполнять драйверы управления СТ на основе схемы управляемого источника тока. На рис. 5 представлена структурная схема разработанного драйвера, где ВОЭУ – входное оптоэлектронное устройство; РФИН – регулируемый формирователь импульсов напряжения; ИП – источник питания; УИТ – управляемый источник тока; ИТ – импульсный трансформатор.

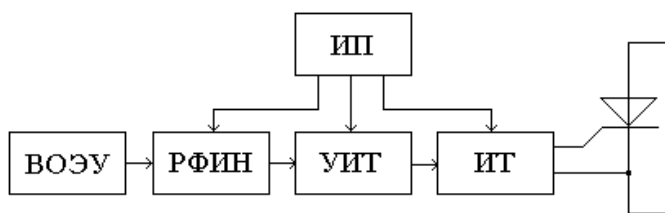


Рис. 5. Структурная схема драйвера управления СТ на основе источника тока

Основные технические характеристики разработанного драйвера следующие:

- 1) амплитуда импульса тока управления  $I_{GM}$  от 1 А до 5 А;
- 2) скорость нарастания импульса тока управления  $di_G/dt$  не менее 2 А/мкс;
- 3) длительность импульса тока управления от 5 до 100 мкс;
- 4) частота повторения импульсов управления от 1 до 10 кГц.

Основными особенностями разработанного драйвера является то, что вход драйвера имеет оптоэлектронную развязку, совместимую с любой логикой, и трансформаторный

выход, а также то, что параметры импульса тока управления мало зависят от параметров цепи управления СТ, электрического режима эксплуатации и соединительных цепей длиной до 5 метров.

### Вывод

Применение в преобразовательных устройствах драйверов управления СТ на основе схемы источника тока позволяет формировать импульсы управления с параметрами, при которых обеспечивается максимально возможная площадь ОПВ при включении СТ в условиях действия многих факторов. Такое решение позволит повысить надежность работы СТ в динамических режимах, характеризующихся повышенными значениями скорости нарастания тока  $di_T/dt$  в открытом состоянии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Плоткина Н.З. Испытания силовых тиристорov на  $di/dt$ -стойкость / Н.З. Плоткина, Ю.Д. Цзин // Труды НИИПТ. Л.: Энергоиздат, 1981. С. 68-74.
2. Беспалов Н.Н. Экспериментальное исследование площади начального включения и потерь в тиристорах при включении по цепи управления / Н.Н. Беспалов, Е.М. Гейфман // Электротехника. 1995. № 1. С. 48-51.
3. Замятин В.Я. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: справочник / В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев, В.М. Петухов. М.: Радио и связь, 1987. 576 с.
4. Беспалов Н.Н. Выходной каскад для управления силовыми тиристорами / Н.Н. Беспалов, М.Н. Байбиков // Электроника и информационные технологии. Саранск, 2002. С. 24-25.

#### **Беспалов Николай Николаевич –**

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автоматика»  
Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева

#### **Голембиовский Юрий Мичиславович –**

доктор технических наук, профессор кафедры «Системотехника»  
Саратовского государственного технического университета

#### **Байбиков Марат Няимович –**

аспирант кафедры «Системотехника»  
Саратовского государственного технического университета

## **АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО**

---

УДК 625.032:534.1

**В.А. Осиновская**

### **ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК КАК ДИНАМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АВТОМОБИЛЬНУЮ ДОРОГУ**

*Обосновывается новое научное понятие динамического транспортного потока. Доказывается, что используемое понятие транспортного потока не отражает процесс воздействия транспорта на автомобильную дорогу.*

**V.A. Osinovskaya**

### **TRANSPORT FLOW AS A DYNAMIC CHARACTERISTIC OF AN INFLUENCE ON A HIGHWAY**

*In this paper the new scientific concept of a dynamic transport flow is proved. It is proved, that the used concept of a transport flow does not reflect process of influence of transport on a highway.*

Используемый в настоящее время в научной и технической литературе термин «транспортный поток» имеет скорее отношение к организации движения, чем к динамике дороги, которую он формирует. Как известно [1], принятая дорожная классификация делит транспортные потоки на 4 категории:

- свободный поток, когда одиночные автомобили движутся на расстоянии, обеспечивающем отсутствие влияния их друг на друга;
- частично связанный поток, состоящий из отдельных небольших групп близко идущих друг за другом автомобилей;
- связанный поток, состоящий из больших групп автомобилей;
- плотный или насыщенный поток, когда автомобили движутся друг за другом при относительно малом расстоянии между ними и с примерно равными скоростями, без видимых разделений на группы.

Основной характеристикой транспортного потока при этом является средняя скорость движения.

При существующих методиках расчета и проектирования автомобильных дорог такая классификация не играет особой роли. Исследования по оценке воздействия транспортного потока на автомобильную дорогу чаще всего ведутся на упрощенных моделях, полагая, что все автомобили имеют равные скорости и находятся на одинаковом расстоянии друг от друга. В этих исследованиях динамика самой автомобильной дороги практически не учитывается, так как ее модель в лучшем случае представляется упруговязкой, с полным игнорированием инерционных параметров.



Если учесть, что в реальности существует только единый динамический объект «автомобиль – дорога», состоящий из двух элементов, формирующих вибрационные процессы за счет взаимосвязи и взаимовлияния друг на друга, то естественно, что вышеупомянутая классификация не пригодна в приложении к такому объекту.

С точки зрения динамики более логичным представляется использовать термин «динамический транспортный поток» как показатель воздействия на автомобильную дорогу. Тогда в колебательных процессах будут иметь место всего два вида возмущений со стороны автомобильного транспорта на дорогу – одиночный автомобиль и динамический транспортный поток. При этом эти понятия не будут связаны с известными классификациями. Например, все 4 принятые категории транспортных потоков при определенных условиях будут являться процессом движения одиночных автомобилей.

Суть состоит в том, что автомобильная дорога, как динамический объект, может совершать свободные и вынужденные колебания. Это совершенно аналогичные процессы, которые исследуются в теории механических колебаний, т.е., если автомобильная дорога совершает колебания с частотой возмущения (воздействия автомобиля), то это вынужденные колебания, а если с собственной частотой, то это свободные колебания. Рассматривая некое сечение автомобильной дороги, становится очевидным, что одиночный автомобиль, воздействуя на это сечение, возбуждает свободные колебания инерционного вида. Причем это затухающие колебания, так как все слои дороги имеют тот или иной уровень диссипативных сил. В соответствии с материалами экспериментальных исследований [2], полное затухание фиксируется через 3...4 с после прохода автомобиля. Вводя в расчетную динамическую модель автомобильной дороги необходимый коэффициент диссипации, обеспечивающий затухание за это время, легко смоделировать динамику дороги при движении одиночного автомобиля или любого вышеуказанного вида транспортного потока.

На рис. 1 представлен виброфон 5-дорожных слоев при наличии свободного транспортного потока. В данном случае принята скорость движения 90 км/ч. В качестве дорожной неровности использована выбоина глубиной 0,02 м.

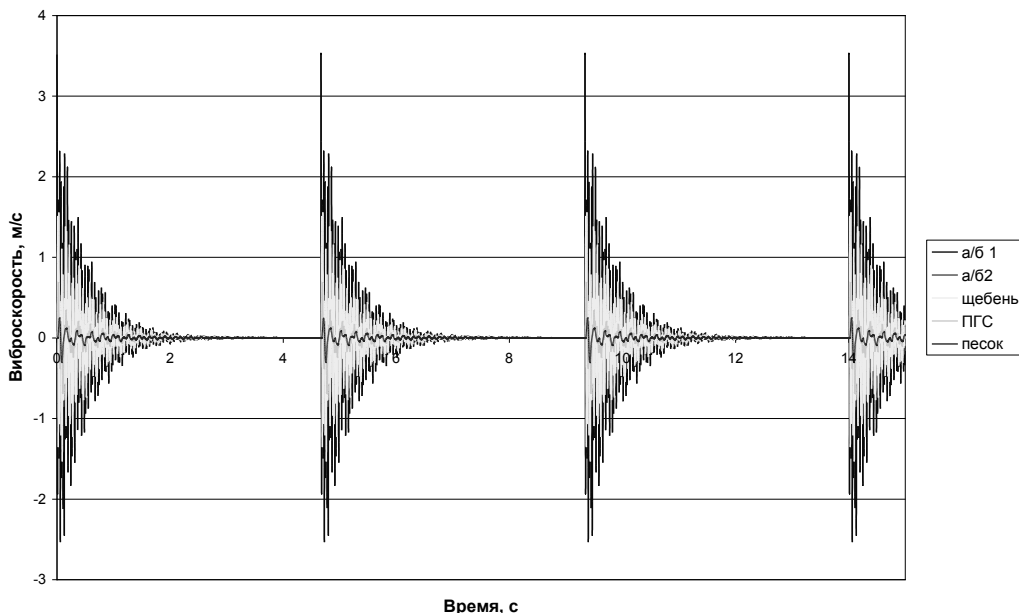


Рис. 1. Виброфон дорожных слоев при свободном транспортном потоке

Из расчетной виброграммы видно, что колебательный процесс, вызванный ударами в дорожную неровность колес передней и задней осей первого грузового автомобиля, через 3 с полностью затухает и следующие автомобили в свободном транспортном потоке только повторяют этот процесс. Здесь мы имеем типичный процесс свободных затухающих колебаний с частотами, соответствующими собственным частотам дорожных слоев. В этом случае мы не можем говорить о транспортном потоке. Для всех слоев автомобильной дороги зафиксировано возмущение со стороны одиночного автомобиля.

Вводя понятие «динамический транспортный поток», следует считать одной из основных характеристик, позволяющих говорить о наличии или отсутствии этого транспортного потока, не среднюю скорость движения, а время затухания колебаний дорожных слоев.

Если при прохождении автомобилей дорожные слои находятся в колебательном режиме, то повторные воздействия реализуют любые циклы вынужденных колебаний. Теперь введение понятия «динамический транспортный поток» более, чем уместно. В дорожных слоях будет формироваться непрерывный колебательный процесс, характеризующийся сложной формой совместных колебаний. Два вида колебаний со своими частотами и амплитудами, а именно, вынужденных колебаний с частотой ударного взаимодействия колес автомобилей с выбоиной на поверхности асфальтобетона и свободных затухающих колебаний, которые функционируют в промежутках между ударными возмущениями, будут накладываться друг на друга. Образование параметров такого процесса напрямую связано с расстоянием между движущимися автомобилями. Эта величина является второй основной характеристикой динамического транспортного потока.

Таким образом, первая характеристика классифицирует вид возбудителя колебаний автомобильной дороги, а вторая – формирование параметров вынужденных колебаний дорожных слоев в случае наличия динамического транспортного потока.

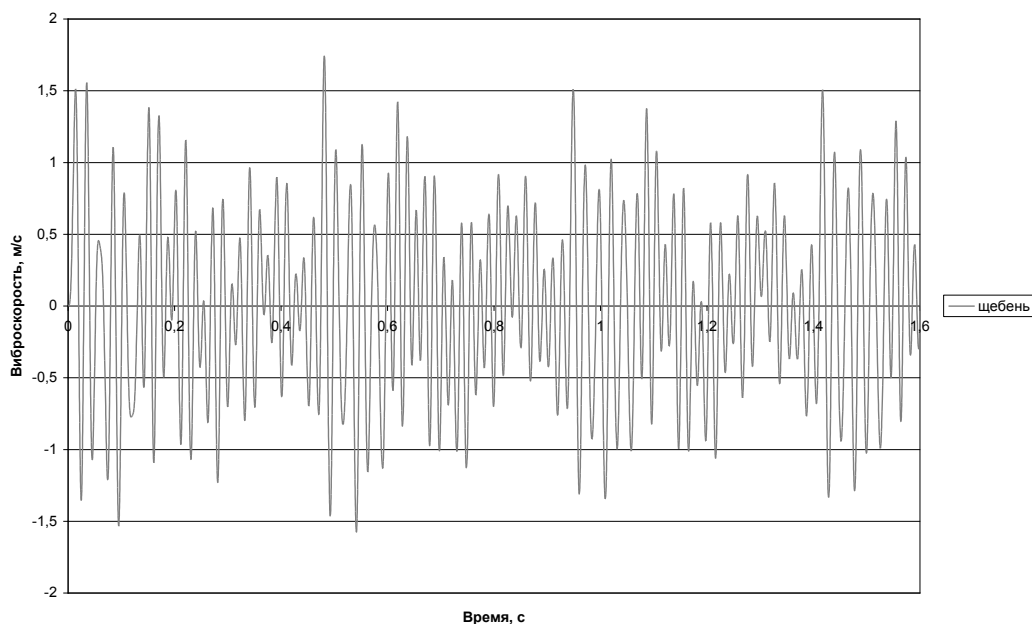


Рис. 2. Виброфон щебеночного слоя при связанном транспортном потоке

На рис. 2 показана виброграмма щебеночного слоя при наличии динамического транспортного потока. При сохранении тех же показателей, что и на рис. 1, расстояние между

автомобилями в потоке принято равным 5 м. Представленный здесь вибрационный процесс в теории колебаний называется неустановившимся. Он характеризуется неустойчивостью, резкими амплитудными бросками и их значительной величиной. Для колебательных систем такой режим считается нежелательным и при проектировании таких систем этот режим допускается только для стадии «разгона». Обычно его влияние стараются уменьшить путем введения больших сил диссипации и реализации низкой собственной частоты, что для автомобильной дороги представляется проблематичным.

При близости частот ударного возмущения со стороны колеса автомобиля и собственных частот дорожных слоев возникнет явления резонанса с диссипацией, т.е. с ограниченным максимумом амплитуд. На рис. 3 показана виброграмма для такого варианта, при соответствующем подборе расстояния между движущимися автомобилями.

В заключение отметим, что варьированием и подбором динамических параметров дорожных слоев, а также формированием функциональных связей скоростных режимов движения и интервалов между автомобилями, можно реализовать в динамическом транспортном потоке некоторый оптимальный виброфон с пониженными амплитудами и относительно малыми динамическими силами в дорожных слоях. Считаем целесообразным ввести в дорожную классификацию категорию «динамический транспортный поток».

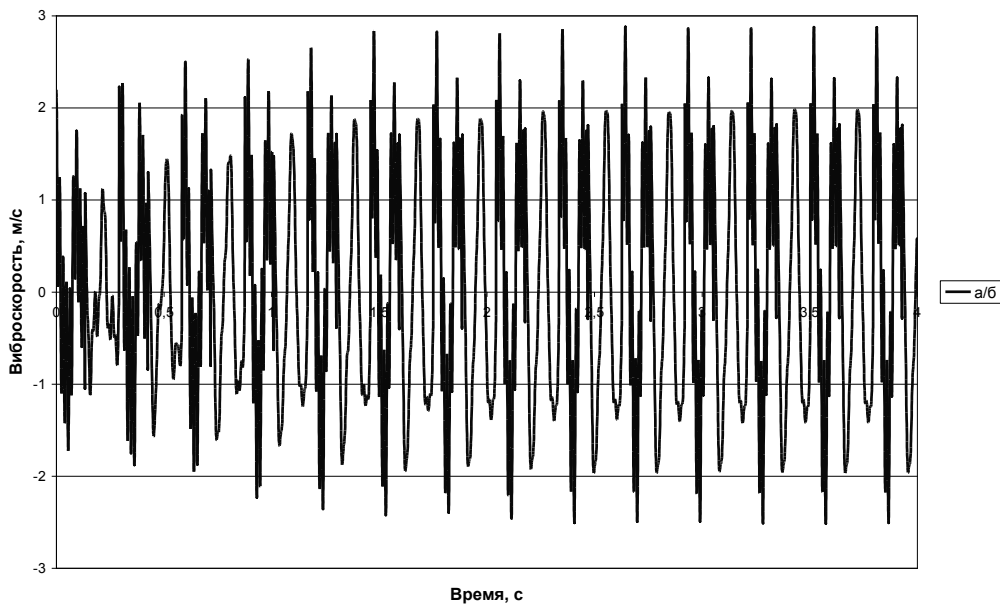


Рис. 3. Виброфон асфальтобетонного слоя при резонансном режиме

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бабков В.Ф. Проектирование автомобильных дорог: учебник для вузов / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. М.: Транспорт, 1987. 368 с.
2. Илиополов С.К. Факторы разрушения. Энергетическое воздействие колес автомобилей на дорогу / С.К. Илиополов // Дороги России. 2002. № 4. С. 68-70.

**Осиновская Вероника Александровна** –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги»  
Брянской государственной инженерно-технологической академии

## ЭКОНОМИКА

---

УДК 658

**И.А. Богданов, А.П. Плотников**

### **ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ЛОГИСТИЧЕСКОГО СЕРВИСА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

*Рассмотрены проблемы организации логистического сервисного потока, приведена его классификация, даны предложения по логистизации сбыта и формированию сервисной логистики как одной из важнейших его функций с целью повышения конкурентного статуса предприятий приборостроения.*

**I.A. Bogdanov, A.P. Plotnikov**

### **INNOVATIONAL APPROACHES TO FORMATION LOGISTIC SERVICE ON ENTERPRISES OF INSTRUMENT-MARKING**

*This article is about problems of organization of logistic service stream, and it's classification, about suggestions of logistization of sell and formation service logistic like one of the most important function of it for aim of rise a status of enterprise of instrument-making.*

Конкурентоспособный потенциал предприятий приборостроения все в большей мере обуславливается уровнем качества и количеством услуг, совокупность которых при определенных условиях определяется как логистический сервис [1]. Соперничество между предприятиями все более распространяется в плоскость сервисного сопровождения при ответственности поставляемых материальных продуктов, удовлетворяющих нужды потребителей. В связи с этим рост удельного веса нематериальной составляющей в полной стоимости товара во многом предопределил развитие понятия «сервис». Логистический сервис, на наш взгляд, представляет собой совокупность услуг, оказываемых в процессе управления логистическими потоками, направленными на максимальное удовлетворение потребительского спроса. Сервисные потоки – это потоки услуг (нематериальных активностей, особого вида продукции или товара), генерируемые звеном логистической системы, логистической системой в целом или ее подсистемой с целью удовлетворения конечных или промежуточных потребителей [5].

Эффективное формирование системы логистического сервиса может быть осуществлено только с учетом особенностей логистического сервисного потока. В этой связи предлагается классификация логистического сервисного потока предприятия приборостроения, включающего финансовый, товарный и информационный потоки. Эта классификация основана на разработках ученых в области логистики, адаптирована к рассматриваемой области логистической системы и дополнена признаками, которые необходимо учитывать при фор-

мировании логистического сервиса предприятий приборостроения: по суммам поступления и по периоду концентрации финансовых средств логистического сервисного потока (рис. 1).



Рис. 1. Классификация логистического сервисного потока

По концентрации денежных средств финансовые потоки делятся на учитываемые на начало периода и учитываемые на конец периода. Первый поток является авансированным потоком, т.е. денежные поступления не распределены внутри периода, а сконцентрированы в начале периода. Второй поток представляет собой финансовый поток, сконцентрированный на конец периода. Элементы таких финансовых потоков могут быть либо независимыми, либо связанными между собой определенным алгоритмом. Временные периоды являются в этих потоках равными, а элементы финансового потока являются однонаправленными, т.е. отсутствует чередование оттоков и притоков денежных средств. Оценка этих потоков может проводиться прямым методом, т.е. с позиции будущего путем реализации схемы наращения, и обратным методом, т.е. с позиции настоящего, используя схему дисконтирования.

По суммам поступления финансовые потоки могут иметь неравные и равные суммы поступлений. Такие потоки называются аннуитетом, который может быть срочным и изменяющимся. Срочный аннуитет возникает, если число равных временных интервалов ограничено. Если величина платежа меняется со временем в сторону увеличения или уменьшения, то аннуитет становится изменяющимся.

В условиях логистического сервиса финансовые потоки предприятий приборостроения создаются и используются для обеспечения эффективного прохождения товарными потоками всего пути следования от момента возникновения до момента прекращения существования в виде потока. При этом их специфика заключается, во-первых, в потребности обслуживать процесс перемещения в пространстве и, во-вторых, процесс перемещения во времени соответствующего товарного потока.

К основным параметрам, характеризующим товарный поток логистического сервиса предприятий приборостроения, относятся: его начальный и конечный пункты, геометрия пути (траектория), длина пути (мера траектории), скорость и время движения, промежуточные пункты, интенсивность.

Между интенсивностью финансовых и товарных потоков существует определенная функциональная зависимость. При этом интенсивность потока представляется переменной величиной, измеряемой в денежном выражении. Интенсивность потока зависит от времени, и, следовательно, в каждый момент она имеет определенное числовое значение. Интенсивность потоков выступает функцией непрерывного времени, несмотря на то, что хозяйственные операции осуществляются одновременно в дискретные моменты.

Под информационным потоком логистического сервиса понимается поток сообщений в какой-либо форме, генерируемый сервисным товарным потоком, между звеном логистической системы, логистической системой и внешней средой, и предназначенный для реализации управляющих функций логистического сервиса. Информационный поток логистического сервиса соответствует определенному товарному потоку и может его опережать, отставать или быть синхронным, двигаться в том же направлении, что и соответствующий товарный поток, быть встречным ему или же двигаться в несовпадающем с ним направлении [2].

Экспертами подсчитано, что прибыль от логистических услуг порой в два раза выше, чем прибыль от основной деятельности [1]. Логистический сервис представляет существенный интерес в качестве динамично развивающегося источника корпоративной прибыли, являющегося резервом повышения эффективности коммерческой деятельности предприятий приборостроения.

Рост объема и качества оказываемых логистических услуг, генерирующих спрос на поставку материальных благ, способен: а) закрепить позиции на действующем рынке путем продуманной политики логистического обслуживания, повышающей со стороны потребителя риск смены поставщика; б) привлечь новых потребителей, предлагая индивидуальное логистическое обслуживание (например, товарный кредит или оплата поставленной продукции по мере использования способны в значительной мере сократить уровень иммобилизации оборотных средств, повысить эффективность использования оборотного капитала потреби-

теля), что позволит установить долгосрочные хозяйственные связи; в) привлечь дополнительных клиентов, оказывая логистические услуги по поставкам продукции конкурентов. При этом можно снизить агрессию конкурентов, возлагая на них издержки по созданию инфраструктуры логистического обслуживания.

Уровень логистического сервиса предприятий приборостроения находится и в зависимости от уровня запасов. Чем больше доступность запасов, необходимых для оказания сервисных услуг на высоком уровне, поставок заказанной продукции в срок, тем, как правило, выше уровень сервисного обслуживания. Однако, на наш взгляд, необходимо учитывать, что излишние запасы формируют дополнительные затраты, связанные с их хранением, складированием. Начиная от 70% и выше, затраты сервиса растут экспоненциально в зависимости от уровня обслуживания, а при уровне обслуживания 90% и выше сервис становится невыгодным. При повышении уровня обслуживания от 95 до 97% экономический эффект повышается на 2%, а расходы возрастают на 14% [4].

В связи с тем, что функции организации обслуживания потребителей могут выполняться как отдел маркетинга, так и отдел логистики предприятия, на наш взгляд, представляется целесообразным исследовать цели и задачи этих подразделений. Главной маркетинговой целью выступает распределение продукции предприятия по элементам маркетинг-микса так, чтобы добиться максимальной долгосрочной рентабельности предприятия. Целью же логистики является минимизация общих издержек с учетом обеспечения цели обслуживания потребителей [3, 6, 7]. При этом общие издержки рассматриваются как сумма транспортных затрат, затрат на складирование, на процедуры заказов и информационную поддержку, на формирование партии отправок на содержание запасов (рис. 2).

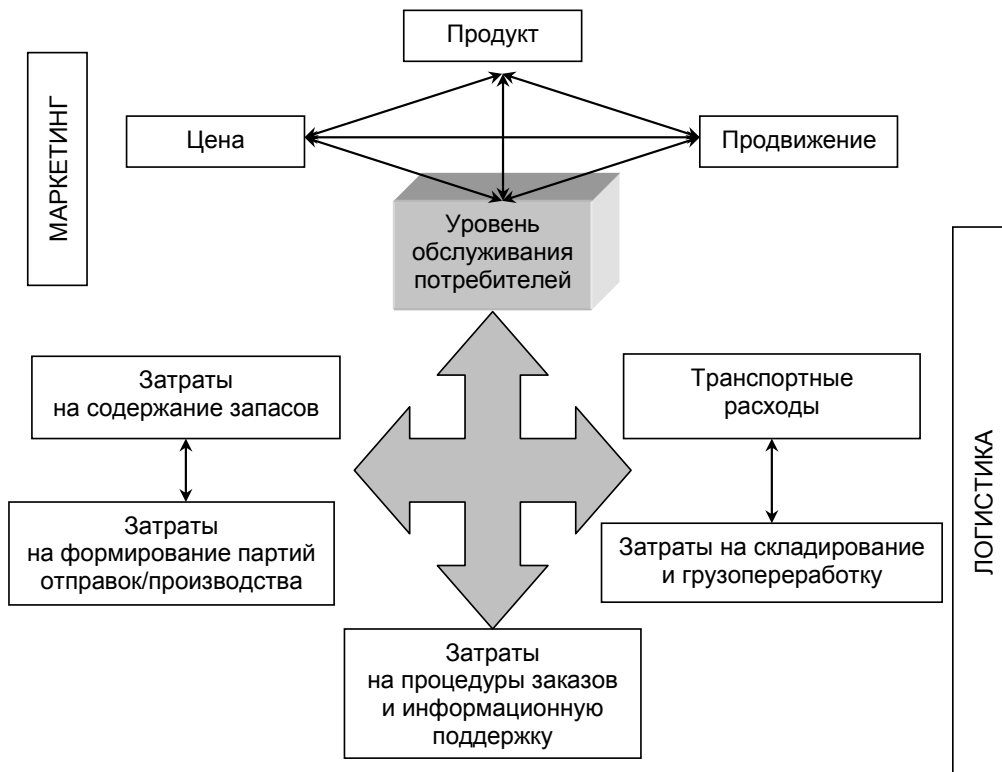


Рис. 2. Компромиссные варианты по затратам, требуемые для маркетинга и логистики при сервисном обслуживании потребителей



Рис. 3. Формирование системы логистического сервиса предприятия приборостроения

При формировании сервисной логистики как главной составляющей сбытовой логистики предприятия приборостроения необходимо учитывать цели и результаты данного процесса. Схема формирования системы логистического сервиса предприятия приборостроения с целью его оптимизации представлена на рис. 3. В процессе формирования логистической системы, логистизации сбытовой деятельности с целью повышения конкурентоспособности



предприятия, руководство должно выработать соответствующую политику управления. Предлагаемая авторами схема процесса организации управления логистическим сервисом предприятия приборостроения представлена на рис. 4.



Рис. 4. Схема процесса управления логистическим сервисом предприятия приборостроения

В целях повышения конкурентоспособности одного из предприятий приборостроения г. Саратова авторами была использована пошаговая модель принятия решения о реализации логистического проекта по повышению качества логистического обслуживания. Цель проекта заключалась в сокращении длительности логистического цикла погрузоразгрузочных работ на 5 дней. Ограничение по объему инвестиций составляло 1,2 млн. руб. На первом этапе было разработано технико-экономическое обоснование, предусматривающее четыре варианта реализации логистического проекта: модернизация имеющегося складского оборудования; приобретение нового складского оборудования; строительство дополнительных подъездных путей; модернизация упаковочной линии.

На втором этапе проведена оценка вариантов с учетом установленного лимита инвестиций и сокращения длительности логистического цикла работ. По результатам этого этапа отобрано два варианта реализации логистического проекта: приобретение нового складского оборудования и модернизация упаковочной линии.

На третьем этапе были подготовлены рекомендации по целесообразности реализации варианта логистического проекта – модернизация упаковочной линии с учетом оценки качества логистического обслуживания и обеспечения конкурентоспособности предприятия. Результаты расчетов представлены на рис. 5.



Рис. 5. Изменение конкурентоспособного статуса предприятия приборостроения и критериев финансово-кредитного сервиса во времени

Таким образом, для совершенствования сервисного обслуживания на предприятиях приборостроения необходимо не только провести организацию соответствующих служб, но и разработать методические рекомендации по организации и оценке уровня качества логистического сервиса, осуществлять постоянный анализ и контроль за конкурентоспособностью предприятия с позиций его эффективности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альбеков А.У. Коммерческая логистика / А.У. Альбеков, О.А. Митько. Ростов-на Дону: Феникс, 2002. 368 с.
2. Аникин Б.А. Логистика: учеб. пособие / Б.А. Аникин. М.: ИНФРА-М, 1997. 327 с.
3. Костоглодов Д.Д. Маркетинг и логистика фирмы / Д.Д. Костоглодов, И.И. Саввиди, В.Н. Стаханов. М.: ПРИОР, 2000. 128 с.
4. Пурлик В.М. Рынок инвестиционных товаров и логистика / В.М. Пурлик. М.: Высшая школа, 1997. 246 с.
5. Сергеев В.И. Формирование макрологистических систем / В.И. Сергеев, П.А. Эльяшевич. СПб.: Знание, 1997. 126 с.
6. Миротин Л.Б. Маркетинг логистических услуг: Научное эссе к деловой игре на персональном компьютере / Л.Б. Миротин // РИСК. 1996. № 6-7. С. 3-8.
7. Моисеев Н.К. Современное предприятие: конкурентоспособность, маркетинг, обновление / Н.К. Моисеев, Ю.Л. Анискин. М.: Внешторгиздат, 1993. 144 с.

**Богданов Игорь Александрович** –  
аспирант кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Плотников Аркадий Петрович** –  
кандидат экономических наук, доцент,  
докторант кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

**Е.С. Курбатова, Н.И. Шикина**

**ФОРМИРОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННОГО  
ЗАПАСА РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОЙ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ**

*Рассмотрены возможности создания логистической системы вуза для формирования информационного запаса результатов исследований и управления информационными потоками на принципах логистики (на примере ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет») в условиях перехода к новой экономике.*

**E.S. Kurbatova, N.I. Shikina**

**EDUCATIONAL INSTITUTIONS' SCIENTIFIC AND SCIENTIFIC  
AND TECHNOLOGICAL ACTIVITY INFORMATIONAL RESERVE  
AND LOGICAL SYSTEMS FORMATION**

*It is considered here that the opportunities of universities logistic system creation for formation of information reserve of research and development and management of information flows on the basis of logistics (by the example of Saratov State Technical University) in the condition of economic conversion.*

Главная цель информатизации в вузе – это повышение качества подготовки специалистов посредством внедрения в учебный и научный процессы новых информационных компьютерных технологий (ИКТ). Не менее важное значение имеют организация и управление информационными потоками, обеспечивающими взаимосвязь с рыночной средой.

В современных условиях лидирующие позиции высшего учебного заведения во многом определяются его возможностями по доступу, хранению и применению качественной информации, а также эффективному использованию средств ИКТ.

В силу ряда проблем и сложившихся подходов к построению информационных систем в вузах складывается ситуация, при которой используемые подходы зачастую несовместимы и не позволяют построить единое информационное пространство, удобное как для образовательных учреждений, так и для Министерства образования и науки РФ, заинтересованного в эффективном управлении и контроле использования всех имеющихся ресурсов.

В настоящее время Министерством образования и науки России разработана концепция создания интегрированной автоматизированной информационной системы (ИАИС), объединяющей Министерство, образовательные учреждения, органы управления образованием и федеральные органы. Одним из ключевых компонентов общей системы образования должна стать вертикаль «Министерство образования и науки – вузы», опирающаяся на отраслевую информационную систему, развернутую в вузах и Министерстве и взаимодействующую через среду общего доступа.

При этом проблемы управления высшим учебным заведением приобретают первостепенное значение, и разработка интегрированной информационно-аналитической системы управления вузом в настоящее время является одним из приоритетных направлений создания общероссийской университетской корпоративной сети, обеспечивающей реализацию целей государственной научно-технической политики.

Процесс информатизации деятельности вуза должен обеспечить формирование единой информационной среды для проведения и поддержки научной и научно-технической деятельности (НиНТД) высшего учебного заведения на базе современных ИКТ.

Вузы являются центральным звеном реализации научной, научно-технической и инновационной политики региона, что объясняется следующим:

- в них сконцентрирован значительный научный потенциал, квалифицированные научные кадры;
- университетская среда, выстраивая научную и научно-техническую политику, ориентируется на потребности регионов;
- университеты являются интеллектуальными центрами, в которых фундаментальные и прикладные исследования тесно связаны с подготовкой специалистов;
- потенциал значительной части разработок очень высок, имеются уникальные разработки, вызывающие большой интерес за рубежом [1].

Управление многообразными возникающими взаимосвязями подразделений образовательного учреждения в процессе его функционирования требует новых подходов, основанных на современных ИКТ. Одним из таких подходов является логистический подход к управлению информационными системами. Его применение требует доказательства, что образовательные учреждения являются частью образовательной системы и их можно представить в виде логистической системы.

Рассмотрим предпосылки логистизации образовательной, научной, научно-технической деятельности вузов. Активное участие вузов в реализации наукоемких проектов обеспечивается:

- созданием цикла – от проведения исследований до реализации их результатов в промышленности;
- использованием результатов НиНТД в подготовке специалистов;
- инвестициями в НиНТД из внебюджетных источников;
- созданием наукоемких инфраструктур в вузе и регионе.

Организация совместной деятельности руководителей различных подразделений (деканатов, кафедр, лабораторий, функциональных подразделений) в целях эффективного продвижения знаний, а также целенаправленных ресурсных потоков на основе интеграции и координации операций, процедур и функций, выполняемых в рамках данного процесса, соответствует определению логистики как науки.

Образовательный, научный и научно-технический процессы образовательного учреждения соответствуют правилам логистики:

- Объект (субъект) – соответствующий объект (субъект) (подготовленный специалист, результаты научных исследований).
- Качество – объект соответствующего качества (соответствие специалиста требованиям государственного образовательного стандарта, результаты исследований и разработок – требованиям рынка и наукоемким технологиям).
- Количество – объект в необходимом количестве (соответствие требованиям рынка труда или по заказу предприятий).
- Время – объект должен быть поставлен в нужное время (соответствие конъюнктуре рынка труда в данный период).
- Место – в нужное место (соответствие требованиям региональной экономики).
- Затраты – с минимальными затратами (на подготовку специалиста или научные исследования).
- Потребитель – нужному потребителю (соответствующему потребителю).

Цель логистической деятельности считается достигнутой, если все вышеперечисленные правила выполнены. Таким образом, для образовательных учреждений выполнение пра-

вил логистики требует координации потоков, состав которых определяется спецификой их деятельности.

Одним из ключевых понятий в логистике как науке является понятие логистической системы (ЛС). Поэтому необходимо остановиться на выявлении особенностей образовательных учреждений для обоснования необходимости и возможности формирования ЛС образовательного учреждения, исследования ее звеньев и связывающих их потоков на основе ЛИС.

«Логистическая система – это сложная организационно завершенная (структурированная) экономическая система, состоящая из взаимосвязанных в едином процессе управления материальными и сопутствующими им потоками элементов-звеньев, совокупность которых, границы и задачи функционирования объединены внутренними целями организации бизнеса и (или) внешними связями» [3].

Звеном логистической системы (ЗЛС) называется некоторый экономически и (или) функционально обособленный объект, не подлежащий дальнейшей декомпозиции в рамках поставленной задачи анализа и построения логистической системы, выполняющий свою локальную цель, связанную с определенными логистическими операциями или функциями [2].

Анализ направлений деятельности ГОУ ВПО «СГТУ» в рыночных условиях привел к необходимости конкретизировать и уточнить некоторые принципиальные особенности системного подхода при рассмотрении их как ЛС.

1. ГОУ как ЛС является сложной динамической и стохастической системой, состоящей из многочисленных взаимодействующих и взаимосвязанных ЗЛС со своими многоуровневыми иерархическими структурами.

2. Звенья (элементы) ГОУ характеризуются целевым и функциональным назначением. Назначение звеньев определяется высшим руководством ЛС.

3. ГОУ как объект исследования уникально в смысле наличия определенной системы факторов, связей и процессов, значительное количество которых являются стохастическими или качественными (субъективными), что вызывает высокую степень неопределенности в поведении исследуемого объекта и формировании управления.

4. ЛС ГОУ представляет собой совокупность материальных, информационных и финансовых потоков и звеньев, образующих систему, включающую объект и субъект логистического управления.

5. При синтезе ЛС ГОУ должна использоваться интегральная парадигма логистики, реализующая общую стратегическую, тактическую или оперативную цель коммерциализации наукоемкой продукции при оптимальном использовании материальных, финансовых, информационных и трудовых ресурсов.

6. Важнейшими системными характеристиками ГОУ как самоорганизующей адаптивной структуры, реализующей одну из целей – коммерциализацию наукоемкой продукции в изменяющейся рыночной среде, являются: надежность, устойчивость и адаптивность, направленные на поддержание равновесия системы в условиях неопределенности.

7. Управление ЛС не может быть полностью формализовано (а, следовательно, алгоритмизировано), что вызывает необходимость построения комплекса формализованных моделей и неформальных (эвристических) процедур и представлений.

8. Информационно-компьютерная поддержка НИИТД ГОУ должна охватывать как можно большее количество процессов управления и объектов.

С учетом вышесказанного, ГОУ ВПО, на наш взгляд, можно рассматривать как ЛС (см. рисунок), состоящую из логистических звеньев – кафедр, деканатов, лабораторий, управленческих и научных подразделений, между которыми в процессе создания и накопления знаний, НИИТД, разработки наукоемкой технической продукции происходит движение информационных, финансовых, материальных потоков. Таким образом, под ЛС ГОУ следует понимать целеориентированную целостную структуру.

Для ЛС ГОУ ВПО особое значение имеют внутренние информационные потоки, циркулирующие в логистической системе между его звеньями, и информационный запас результатов исследований и разработок.

Информационный запас (ИЗ) в ГОУ ВПО «СГТУ» рассматривается как информационный поток в определенном временном сечении и представляет собой совокупность баз данных, предназначенных для накопления, хранения, корректировки, преобразования и выдачи информации, соответствующей потребностям научных сотрудников, студентов при выполнении исследований и разработок, в курсовом и дипломном проектировании, а также для коммерческой передачи предприятиям.

Цель создания ИЗ – накопление данных и обеспечение ими участников образовательной, научной, научно-технической и инновационной деятельности при повторяющихся процессах и продуктах, используемых для создания нового или совершенствования изделия, технологии и т.д.

Необходимость введения понятия «информационный запас» объясняется тем, что информационные потоки, сопровождающие весь процесс научных исследований и разработок, находятся в покое или движении [4]. Для исследований и разработок более важным является накопленная информация, то есть поток в покое, который нами определяется как информационный запас.

Содержание ИЗ должно быть таким, чтобы оно давало возможность интегрировать все стадии процесса производства научного продукта. Это создает предпосылки для проектирования наукоемких изделий с такими качественными характеристиками, которые обеспечивают конкурентоспособность этой продукции на внутренних и внешних рынках.

Основными факторами, влияющими на формирование информационных потоков и запасов при НИИТД, являются:

- цель создания ИЗ (например, поиск идей, сбор фактов, накопление результатов, восприятие концепций). Последняя характеристика непосредственно влияет на особенности построения системы ИЗ для обеспечения разработчиков и организацию использования информации;

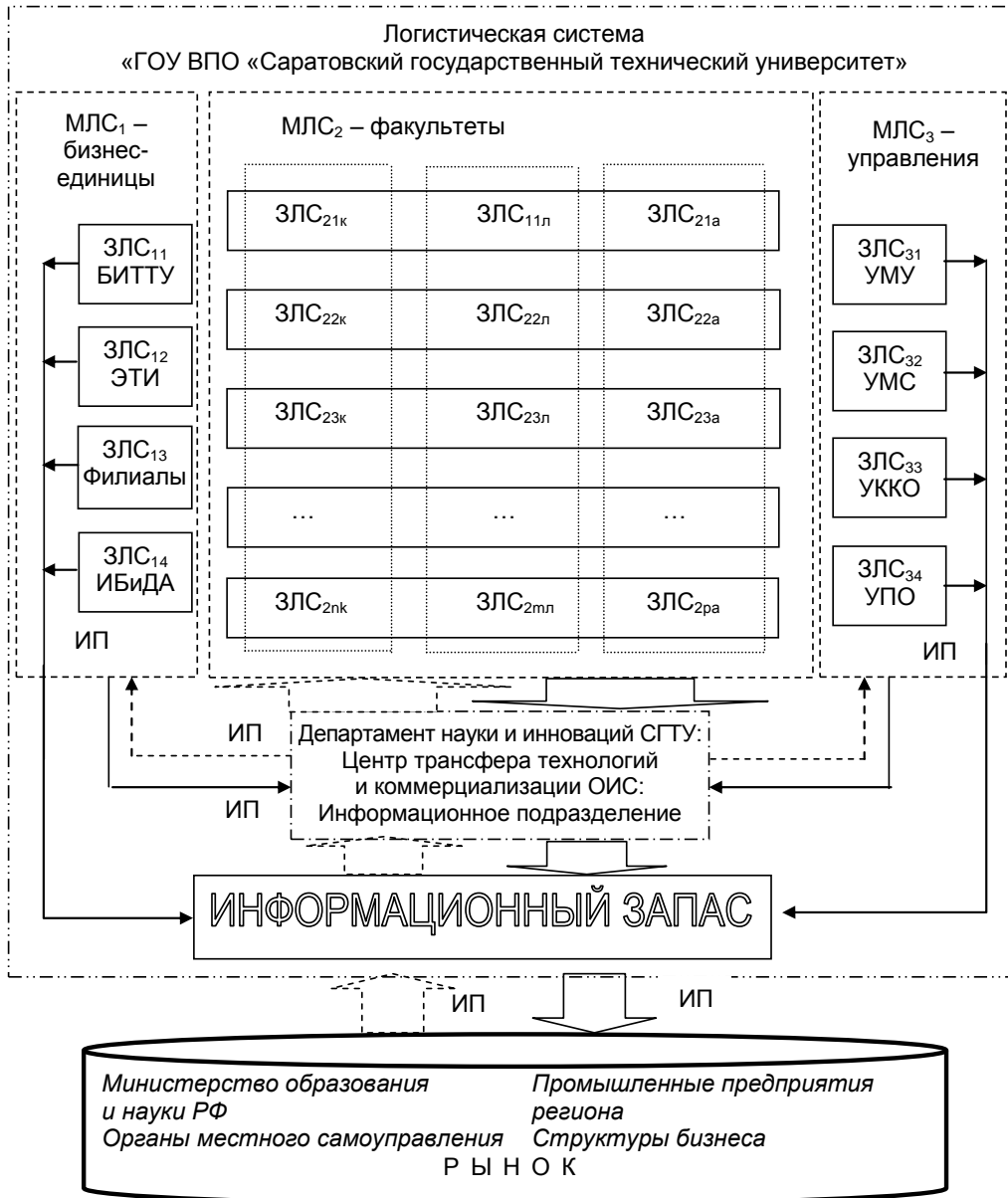
- специфика научно-технической проблемы, определяющая структуру используемого ИЗ;

- квалификационный состав потребителей, от которого зависит степень охвата проблемы в соответствии со спецификой научных интересов (например, интересы работников академических и отраслевых институтов);

- должностная категория потребителей, выдвигающая определенные требования к широте охвата и степени новизны используемой информации (например, руководители и исполнители).

Для того чтобы представить процесс формирования ИЗ, также необходимо выявить звенья логистической системы СГТУ, генерирующие информационные потоки, переходящие в запас. Поэтому, с нашей точки зрения, в целях исследования связей звеньев ЛС необходимо представить общую структуру ГОУ ВПО «СГТУ» как логистическую систему, а структурные подразделения, участвующие в формировании информационного запаса, представим в виде звеньев логистической системы (см. рисунок).

В качестве системы управления примем вуз. Кафедры будут представлять собой объекты управления, а администрация – аппарат их управления, в данном случае представляющий собой субъект управления. Информационные потоки, несущие научную и научно-техническую информацию, выступают как связи между звеньями ЛС. К внешней среде следует отнести промышленные предприятия, организации, бизнес-структуры, органы местного самоуправления, пользующиеся услугами вуза в образовательной, научной и научно-технической деятельности.



- Граница ЛС СГТУ      ЗЛС<sub>21к</sub>, ЗЛС<sub>22к</sub>, ЗЛС<sub>23к</sub>, ..., ЗЛС<sub>2нк</sub> – кафедры
- Граница МЛС      ЗЛС<sub>11п</sub>, ЗЛС<sub>22п</sub>, ЗЛС<sub>23п</sub>, ..., ЗЛС<sub>2мл</sub> – лаборатории
- Прямой ИП      ЗЛС<sub>21а</sub>, ЗЛС<sub>22а</sub>, ЗЛС<sub>23а</sub>, ..., ЗЛС<sub>2ра</sub> – аспирантура
- > Обратный ИП

БИТТУ – Балаковский институт техники, технологии и управления;  
 ЭТИ – Энгельсский технологический институт; УМУ – учебно-методическое управление;  
 УМС – управление международного сотрудничества; УККО – управление контроля качества образования; УПО – управление послевузовского образования

Таким образом, упорядочивание информационных потоков и формирование информационного запаса в логистической системе вуза является одним из инструментов логистического менеджмента, обеспечивающих ускорение проводимых исследований и разработок, а также сокращение сроков реализации научных идей в производстве.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Курбатова Е.С. Информационная составляющая научно-исследовательской деятельности высшей школы / Е.С. Курбатова // Логистический и инновационный менеджмент: сб. материалов регион. науч.-практ. конф. Саратов: СГТУ, 2005. С. 106-110.
2. Сергеев В.И. Менеджмент в бизнес-логистике / В.И. Сергеев. М.: Информ.-издат. Дом «ФИЛИНЪ», 1997. 772 с.
3. Сергеев В.И. Логистика в бизнесе / В.И. Сергеев. М.: ИНФРА-М, 2001. 608 с.
4. Rose W. Logistics Management / W. Rose. Dubuque, Iowa: Brown, 1979. 370 p.

**Курбатова Екатерина Сергеевна** –  
аспирант кафедры «Экономика и управление на автомобильном транспорте»  
Саратовского государственного технического университета

**Шикина Надежда Ивановна** –  
кандидат экономических наук,  
доцент кафедры «Организация перевозок и управления на автомобильном транспорте»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 330.3

**Е.Ш. Курмакаева**

#### **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ИНВЕСТИЦИЙ В СИСТЕМЕ ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНОГО КАПИТАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Рассматривается возможность вовлечения дополнительных источников финансирования в систему воспроизводства основного капитала предприятий. Основное внимание уделяется развитию лизинговых отношений. Отмечены преимущества лизинга для предприятий по сравнению с другими способами приобретения основного капитала. Для повышения роли лизинга в стимулировании воспроизводства основного капитала необходимо создание соответствующих благоприятных условий для его развития на макроэкономическом уровне.*

**E.Sh. Kurmakayeva**

#### **THE ADDITIONAL SOURCES OF THE INVESTMENTS IN THE SYSTEM OF THE FIXED CAPITAL REPRODUCTION OF THE ENTERPRISES**

*The article describes the real possibility of additional financial sources involving in the system of the fixed capital reproduction of the enterprises. Much prominent is given in the article to leasing development. Leasing advantages for*



*the enterprises in comparison with other ways of getting fixed capital are mentioned here. The creation of the relevant conditions for its development in macro economical level is necessary for raising the role of leasing to stimulate fixed capital reproduction.*

Развитие инвестиционного этапа экономического роста должно сопровождаться интенсивным структурным обновлением на основе динамики ресурсного потенциала российской промышленности, особое место в котором занимает основной капитал, состояние и возможности обновления которого во многом определяют перспективы развития экономики.

Современное критическое состояние основного капитала промышленных предприятий и, главным образом, предприятий машиностроительного комплекса диктует необходимость активизации процессов воспроизводства, поскольку высокая степень физического и морального износа основного капитала машиностроительного комплекса, его неблагоприятная возрастная структура делают невозможным поддержание высоких темпов роста ВВП, а также во многом определяют место России в системе международного разделения труда.

Машиностроительный комплекс является «центральной звеном», индуцирующим распространение достижений научно-технического прогресса в хозяйственную практику народного хозяйства, он способен обеспечить экономику оборудованием, адаптированным к более высоким требованиям инновационных технологий, предназначенных для применения во всех остальных отраслях. «Заметно более быстрое развитие инновационных процессов происходит в странах с «хорошей» возрастной структурой активных элементов основного капитала, позволяющей более легко адаптировать технологические цепочки к новым прогрессивным технологиям» [8, с.28].

Конечно, в рамках машиностроительного комплекса еще есть относительно не старые предприятия, на которых основная доля основного капитала физически и морально еще не устарела. Однако для большинства предприятий характерно наличие высокой доли физически и морально устаревшего основного капитала, который с точки зрения требований технического прогресса и новых технологий существенной ценности не представляет, так как не способен производить современную конкурентоспособную продукцию.

Проблема обновления активной части основного капитала, качественного изменения технологического уровня производства, повышения его эффективности обостряется в силу ограниченности объемов финансовых ресурсов.

Хотя собственные средства предприятий продолжают сохранять доминирующее положение в структуре источников финансирования инвестиций в основной капитал, для осуществления полноценного расширенного воспроизводства их недостаточно. В долгосрочном периоде проблема может быть решена при целенаправленном изменении структуры инвестиций в основной капитал предприятий. Для формирования эффективной инвестиционной системы, способной обеспечить интенсификацию воспроизводства основного капитала, государству необходимо обеспечить переход от существующей системы, ориентированной на собственные средства предприятий, к системе с опорой на привлеченные средства.

В последнее время наметилась слабая тенденция роста доли привлеченных средств (с 50,6% в 2001 г. до 54,6% в 2004 г.) [7, с.662].

В то же время, несмотря на увеличение доли заемных средств, роль финансового сектора как источника инвестиционных ресурсов по-прежнему остается незначительной. В структуре источников финансирования инвестиций в основной капитал доля кредитов банков снизилась с 7,7% в 2004 г. до 6,5% в 2005 г. [5, с.59].

Факторами, сдерживающими кредитование инвестиционных проектов реального сектора экономики, являются по-прежнему высокий уровень рисков, отсутствие прозрачности финансовой деятельности предприятий и реального механизма залогового обеспечения кредита.

В результате при высоких рисках сектор кредитных и банковских услуг продолжает сдержанно относиться к проектам инвестиций в реальный сектор экономики без соответствующих налоговых льгот и гарантий.

Активная экономическая политика государства, способствующая ускоренному обновлению основного капитала, должна быть направлена на создание условий, соответствующих интересам и банков и предприятий-заемщиков.

С целью обеспечения притока инвестиционных средств в систему воспроизводства основного капитала в рамках макроэкономической политики необходимо проведение дифференцированной политики для стимулирования работы коммерческих банков с реальным сектором – условия рефинансирования должны определяться индивидуально для каждого финансового института в зависимости от инвестиционной программы. Результатом станет снижение процента за кредит для предприятий.

Необходимо заметить, что на сегодняшний день даже в условиях удешевления кредитов со стороны предприятий заметного спроса на кредиты банков не наблюдается. Подобная тенденция объясняется сложной процедурой оформления кредита и необходимостью предоставления огромного (с позиций предприятий) залога или каких-либо других дополнительных гарантий, которые в большинстве случаев значительно превышают возможности предприятий. Следовательно, необходимо упрощение процедуры кредитования, уменьшение размера залога, что может быть обеспечено путем предоставления коммерческим банкам государственных гарантий возврата денежных средств.

Многие признаки обычного банковского кредита относятся к инвестиционному налоговому кредиту. Наиболее существенными признаками рассматриваемого кредита являются: статус кредитора – уполномоченный государственный орган и существенные экономические условия кредита, закрепленные законодательно.

Налоговое кредитование призвано стимулировать инвестирование в модернизацию основного капитала. Однако воспользоваться подобной льготой может не всякое предприятие. Как и банковский, инвестиционный налоговый кредит должен быть обеспечен залогом или поручительством, но проценты, уплачиваемые организацией по инвестиционному налоговому кредиту, не могут уменьшать налоговую базу по налогу на прибыль. Кроме того, инвестиционный налоговый кредит вместо экономии на заемных средствах может повлечь налоговые проверки.

Итоговое решение остается за собственником, с учетом того, что денежные средства можно привлечь не только посредством получения налогового кредита, но и иными законными способами, не содержащими риска общения с налоговыми органами.

В настоящее время альтернативой банковского и налогового кредитования становится лизинг. «В странах, где лизинг широко распространен, его относят к более высокому уровню операций, чем кредитование предприятий» [6, с.45]. В промышленно развитых странах он достигает 20% всего объема инвестиций. В России данный метод инвестирования воспроизводства основного капитала еще только набирает силу.

Поскольку оборудование для машиностроительных предприятий довольно дорогостоящее и приобретение его в условиях недостаточной инвестиционной активности существенно затруднено, особенно малыми и средними предприятиями, данный метод управления в процессе воспроизводства основного капитала в последнее время приобретает актуальность.

Согласно определению, лизинг – это вид инвестиционной деятельности по приобретению основного капитала и передаче его на основании договора лизинга предприятию за определенную плату, на определенный срок и на определенных условиях с правом выкупа его лизингополучателем, то есть предприятием.

Если квалифицировать лизинг как передачу имущества во временное пользование на условиях срочности, возвратности и платности, его можно характеризовать как товарный кредит в основной капитал предприятий.

Отдельные исследователи в качестве основных достоинств лизинга по сравнению с кредитом отмечают срок действия договора и соотношение процентных ставок. «Банковский кредит выдается обычно на короткий срок (до 2-3 лет) и под относительно высокий процент, договор же лизинга заключается на более продолжительный срок, близкий к сроку полезного использования объекта» [4, с.177]. Однако на практике наблюдается обратное: договор лизинга заключается примерно на такой же срок, а уровень процентной ставки при лизинге более высокий по сравнению с кредитом. Причина в том, что лизинговые компании, как правило, сами покупают имущество на заемные деньги и следовательно, сумма лизинговых платежей должна возместить лизингодателю помимо амортизации объекта лизинга и стоимости лизингового оборудования еще и денежные средства, уплаченные им за пользование кредитом, полученным для приобретения основного капитала.

При этом необходимо отметить и неоспоримые преимущества лизинга для предприятия по сравнению с другими способами приобретения основного капитала (оплата по факту поставки, банковский кредит). Важнейшими из них являются следующие:

- предприятие, получая основной капитал в пользование, не оплачивает заранее имущество, не производит крупных единовременных затрат и может высвободить дополнительные средства для производственно-экономического развития;

- при заключении договора лизинга нет необходимости в предоставлении залога лизингодателю, как это практикуется при получении кредита, так как лизинговое имущество непосредственно выступает в качестве залога;

- платежи осуществляются после установки, наладки и пуска оборудования в эксплуатацию, что позволяет предприятию осуществлять платежи из выручки за продукцию, произведенную на арендованном оборудовании;

- существует возможность применения ускоренной амортизации с повышенным коэффициентом;

- приобретение оборудования по лизингу позволяет уменьшить размер налогооблагаемой прибыли за счет отнесения лизинговых платежей на производственные расходы, полученное в аренду предприятием имущество налогом не облагается, поскольку не числится на его балансе, а является собственностью лизингодателя;

- высокая оперативность в смене лизингового оборудования снижает риск возникновения убытков при недостаточном сбыте продукции, так как предприятие вправе вернуть арендуемое имущество лизингодателю и приобрести новое по другому договору лизинга.

Таким образом, лизинг бесспорно выгоден предприятию, поскольку позволяет получить прямые целевые инвестиции в виде нового, прогрессивного оборудования, стимулируя расширенное воспроизводство основного капитала на предприятии.

За последние годы объемы лизинговых операций в стране довольно быстро увеличиваются. В 2003 году приобретение машин и оборудования на условиях финансового лизинга осуществляли 22% предприятий машиностроительного комплекса, при этом увеличение по сравнению с 2002 годом составило 18 пунктов [2, с.26].

Повышению роли лизинга в стимулировании воспроизводства основного капитала на предприятиях будет способствовать создание государством соответствующих благоприятных условий для его развития. В итоге эффективное управление лизинговыми отношениями может стать важнейшим фактором ускорения темпов экономического роста на основе оптимизации воспроизводственной структуры хозяйства и повышения в результате конкурентоспособности продукции.

Закон «О финансовой аренде (лизинге)» [1] предусматривает следующие меры государственной поддержки лизинговой деятельности:

- создание залоговых фондов для обеспечения банковских инвестиций в лизинг с использованием государственного имущества;

- предоставление инвестиционных кредитов для реализации лизинговых проектов;

- предоставление банкам и лизинговым компаниям налоговых льгот;
- долевое участие государственного капитала в создании инфраструктуры лизинговой деятельности в отдельных целевых инвестиционно-лизинговых проектах;
- финансирование из федерального бюджета и предоставление государственных гарантий в целях реализации лизинговых проектов.

В целях создания благоприятных экономических условий развития лизинговых отношений необходимо стимулирование расширения сети самостоятельных лизинговых компаний, не зависящих от коммерческих банков, что позволит уменьшить затраты лизингополучателя.

Еще более эффективным способом государственного участия в ускорении обновления основного капитала предприятий является развитие государственного финансового лизинга. Критическое состояние системы воспроизводства основного капитала предприятий машиностроительного комплекса и очевидный эффект для национальной экономики от внедрения на этих предприятиях прогрессивного оборудования обуславливает необходимость ориентации свободных денежных средств государства именно в эту отрасль.

«Лизинг в России сегодня – это та основа, на которой возможно строить государственную стратегию экономического развития, планировать долгосрочные инвестиции» [3, с.283].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 29.10.98 г. № 164-ФЗ «О финансовой аренде (лизинге)». Глава IV. Статья 36.
2. Глисин Ф. Инвестиционная активность промышленных предприятий в 2003 году / Ф. Глисин // Общество и экономика. 2004. № 1. С. 18-32.
3. Гуртов В.К. Инвестиционные ресурсы / В.К. Гуртов. М.: Экзамен, 2002. 384 с.
4. Ковалев А.П. Управление имуществом на предприятии: учеб. пособие / А.П. Ковалев. М.: ЗАО «Финстатинформ», 2002. 240 с.
5. Об итогах социально-экономического развития Российской Федерации за 2005 год и задачах экономической политики Правительства Российской Федерации на 2006 год. М.: Министерство экономического развития и торговли Российской Федерации, февраль, 2006. 183 с.
6. Павлодский Е.А. Лизинг как инструмент рыночных отношений: пути совершенствования / Е.А. Павлодский // Журнал российского права. 2000. № 10. С. 44-52.
7. Россия в цифрах. Российский статистический ежегодник. М.: Статистика, 2005. 720 с.
8. Стрижкова Л. Инновационная составляющая промышленной политики / Л. Стрижкова // Экономист. 2004. № 11. С. 14-29.

**Курмакаева Елена Шамилевна** –  
преподаватель кафедры «Экономика»  
Поволжской академии государственной службы им. П.А. Столыпина

УДК 330.3

**М.А. Распопова**

#### **ПОТРЕБНОСТЬ В ИНВЕСТИЦИЯХ В ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ**

*Рассматриваются проблемы, с которыми в настоящее время сталкиваются предприятия, стремящиеся к инновационному развитию. Приведе-*

*ны причины привлечения инвестиций. Указана проблема привлечения инвестиций в машиностроительные предприятия. Дана оценка притока денежных средств в зависимости от протяженности проекта во времени. Анализируется эффективность инвестиций в инновационное развитие.*

**М.А. Raspopova**

#### **THE NECESSITY OF INVESTMENTS INTO INNOVATION DEVELOPMENT AND THE INVESTMENTS EFFICIENCY**

*The problems of enterprises aspired to innovation development nowadays are considered in the article. The reasons for attracting investments are taken into account. The problems of attracting investments into engineering industry are described here. The influx of investments is estimated depending on extension of the project. The efficiency of the investments into innovation development is analyzed in the article.*

В настоящее время инновационные отрасли в России сталкиваются с целым рядом экономических и управленческих проблем. К наиболее важным можно отнести такие финансовые проблемы, как: неразвитость финансовой инфраструктуры и недостаток средств. Неразвитость финансовой инфраструктуры выражается в скудных объемах финансирования инновационных проектов. Действительно, отсутствуют (или их создание ради разовых проектов представляется очень дорогостоящим) специфические структуры, позволяющие оценить проект, произвести его экспертизу и т.п. Довольно часто банки отказывают в финансировании проекта именно по той причине, что уровень неопределенности высок, а прибыль относительна. Недостаток собственных финансовых средств для финансирования инновационного проекта, невыгодные условия получения кредита и, наконец, длительные сроки окупаемости проекта делают для многих фирм инвестирование в инновационные проекты дорогим и невыгодным. В данной ситуации была бы уместна государственная поддержка создания работоспособных венчурных фирм, что непременно послужило бы развитию инновационной отрасли и способствовало получению выгоды для государства.

Эффективное развитие предполагает планомерное повышение технико-технологического уровня предприятия. Это продиктовано требованиями, генерируемыми как внутренней средой, так и внешней.

Стремясь к лидерству, предприятия внедряют новые технологии и оборудование, совершенствуют имеющийся технико-технологический потенциал с целью повышения конкурентоспособности и создания предпосылок для устойчивого развития. Этот процесс имеет системный характер и требует отлаженного механизма финансирования капиталовложений. Развитие финансового рынка существенно расширило и диверсифицировало источники средств: наряду с внутренними инвестициями у предприятий появилась реальная возможность привлечь внешние средства. Таким образом, значительные капиталовложения осуществляются путем привлечения средств как отечественных, так и иностранных инвесторов, в лице государства, инвестиционных компаний, банков, предпринимателей и т.д.

Привлеченные инвестиции, направленные на развитие технико-технологического потенциала предприятия, ведут к достижению заданного уровня и дальнейшему повышению качества, обеспечению адекватной производительности, сокращению затрат живого и овеществленного труда, повышению гибкости техпроцессов, что ведет к повышению эффективности капитальных вложений. Отсюда, чем выше отдача на вложенный капитал, тем больше возможностей получает предприятие в отношении коренного перевооружения и интенсификации техпроцессов.

Для правильной оценки планов капитальных вложений руководство предприятия должно, прежде всего, иметь достоверную информацию о фактическом состоянии основных средств. Важно, что на базе полученных фактов можно производить сравнения имеющихся в наличии основных средств с потребностью в капитальных вложениях (табл. 1).

Разработка плана капитальных вложений требует систематической оценки состояния основных средств. Практика подтверждает, что российские предприятия осуществляют замену оборудования только после полного его износа. Это происходит по причине тяжелого финансового положения.

Таблица 1

Структура анализа фактического состояния основных средств

Обзор структурной динамики основных средств	Оценка размера и структуры вложений капитала предприятия в основные средства
	Определение характера направленности происшедших изменений
Анализ воспроизводства и оборачиваемости	Горизонтальный анализ показателей движения основных средств
	Вертикальный анализ показателей движения основных средств
	Оценка прогрессивности и интенсивности основных средств
Анализ эффективности использования основных средств	Анализ рентабельности основных средств
	Анализ фондоотдачи
	Анализ использования парка наличного оборудования
	Анализ использования оборудования во времени
	Интегральная оценка использования оборудования
Анализ эффективности затрат по содержанию и эксплуатации оборудования	Анализ затрат по капитальному ремонту основных средств
	Анализ затрат по текущему ремонту
	Анализ взаимосвязи объема производства, прибыли и уровня затрат

Замена оборудования, начисление амортизации на которое еще не прекращено, возможна в целях устранения узких мест в производстве, либо при переходе на качественно новую технологию производства. При этом возможно перемещение базового оборудования в другие цеха, модернизация, либо реализация.

Решение о времени закупки нового оборудования зависит от ряда обстоятельств и, прежде всего, от наличия финансовых ресурсов на данные цели. Вместе с тем, необходимо учитывать финансовое состояние предприятия, размер получаемой прибыли. Только после этого руководитель предприятия должен принять решение о замене или модернизации оборудования, к тому же не мешает знать, как работает оборудование на предприятиях, выпускающих аналогичную продукцию. Предприятия, ведущие полный учет работы оборудования, состояния основных фондов, их износа, как правило, принимают правильные решения при разработке планов капитальных вложений.

Стоимость замены оборудования необходимо сопоставлять, прежде всего, со стоимостью ремонта действующего оборудования.

Изношенное оборудование, как правило, требует частого ремонта, большего количества расходных материалов. Это увеличивает расходы по его обслуживанию. Поэтому замена части оборудования может оказаться более рациональной, чем расходование средств на его содержание и ремонт.

Потребность в новом оборудовании может возникнуть вследствие недостатка имеющегося оборудования при увеличении производительности.

Еще одна причина – наличие на предприятии морально устаревшего оборудования. Конкурирующие предприятия и фирмы при замене оборудования достигают, помимо повышения качества готовой продукции, роста объемов производства и снижения уровня издержек. Конкуренция заставляет предприятия постепенно обновлять свой парк оборудования, снижая риск возможного банкротства.

Последняя причина необходимости замены оборудования может быть вызвана прекращением производства устаревшей продукции.

Со всей уверенностью можно утверждать, что для эффективного управления капитальными вложениями предприятию необходимо:

- систематически анализировать состояние оборудования и выявлять основные средства, подлежащие замене;
- отслеживать появление на рынке нового оборудования, используя соответствующие службы маркетинга;
- добиваться совершенствования оборудования и своевременно внедрять новшества в свое производство;
- вести полный учет затрат.

Принятие оптимального решения о капитальных вложениях зависит от точности учета на предприятии. Необходимо при этом принимать во внимание все расходы по ремонту и содержанию оборудования.

Практика показывает, что модернизация действующего оборудования не всегда может в достаточной степени компенсировать физический и моральный износ, обеспечить необходимый технический и экономический уровень продукции. Но отдельные примеры свидетельствуют о возможности такой модернизации.

Следовательно, повышение эффективности должно достигаться при оптимальном сочетании внедрения нового гибкого оборудования и повышении гибкости действующего оборудования.

В целом, эффективность использования основных фондов оценивается по-разному в зависимости от их вида, принадлежности, характера участия в производственном процессе, а также назначения. Поскольку основные средства обслуживают не только производственную сферу деятельности предприятия, но и социально-бытовую, эффективность их использования определяется не только экономическими, но и социальными, экологическими и другими факторами. Отсюда можно сделать вывод, что основные средства оказывают разностороннее влияние на финансовое состояние и результаты деятельности предприятия.

Анализ состояния основных фондов обследуемых предприятий показал необходимость капиталовложений в основные фонды не только для развития, но и для выживания. В табл. 2 рассмотрена динамика структуры основных средств на ОАО «Саратовский подшипниковый завод».

Таблица 2

Анализ прогрессивности состава оборудования ОАО «СПЗ», (%)

Группы оборудования	2003 год	2004 год	2005 год
Всего оборудования	100	100	100
в том числе:			
автоматические линии и многооперационные станки	22,2	24,3	24,5
автоматы и полуавтоматы	29,2	30,2	31,0
станки с числовым программным управлением	12,0	12,6	13,4
агрегатное оборудование	1,9	2,4	2,7
прочее оборудование	34,7	30,5	28,4
В общем составе оборудования:			
Морально устаревшее оборудование	20,2	20,0	20,0

Показатели таблицы свидетельствуют о постепенном обновлении основных фондов за счет внедрения автоматического оборудования, в том числе гибкого оборудования (станков с числовым программным управлением, многооперационных станков, обрабатывающих центров). Незначительное изменение показателей движения морально устаревшего оборудования свидетельствует о дальнейшем его использовании и/или неактивной политике по его ликвидации.

Произведенные исследования позволяют сделать вывод, что на предприятиях средне- и крупносерийного типа производства доля активной части в общей стоимости основных фондов колеблется в пределах 50-68%.

Улучшить структуру основных производственных фондов позволяет обновление и модернизация оборудования, лучшее использование зданий, ликвидация лишнего и малоиспользуемого оборудования. Данные табл. 3 свидетельствуют о значительном устаревании основных фондов. Основной сегмент в структуре оборудования машиностроительного предприятия – металлорежущее оборудование по возрастным характеристикам оказывается наиболее устаревающим. Следовательно, необходимо проводить рациональную политику предприятия в области использования собственных и заемных средств, поскольку в некоторых случаях система амортизации не способна удовлетворять потребность в своевременном обновлении парка технологического оборудования. Налицо прямая связь данной проблемы с проблемой хронического дефицита денежных средств.

Таблица 3

Количественно-возрастной состав оборудования ОАО «СПЗ» по состоянию на 01.01.2005 г.

Наименование оборудования	Всего	До 5 лет		5-10 лет		10-15 лет		15-20 лет		От 20 лет больше	
		Количество	%	Количество	%	Количество	%	Количество	%	Количество	%
Металлорежущее	4976	156	3,1	586	11,8	971	19,5	818	16,5	2445	49,1
Кузнечно-прессовое	564	20	3,5	57	10,1	50	8,9	71	12,6	366	64,9
Подъемно-транспортное	657	24	3,7	86	13,1	101	15,4	75	11,4	371	56,4
Деревообрабатывающее	73	10	13,7	11	15,1	4	5,5	11	15,1	37	50,6
Литейное	45	21	46,7	4	8,9	4	8,9	1	2,2	15	33,3
Термическое	217	15	6,9	22	10,1	22	10,1	31	14,3	127	58,6
Прочее технологическое	1263	189	15,0	234	18,5	206	16,3	135	10,7	499	39,5
Итого	7795	435	5,6	1000	12,8	1358	17,4	1142	14,7	3860	49,5

Капиталовложения должны позитивно влиять на фондоотдачу, о чем свидетельствует пример замены технологического оборудования производства наружного кольца подшипника ШСП50 (табл. 4). В результате перехода с полуавтоматического на автоматическое оборудование удалось увеличить фондоотдачу в два с половиной раза, при полном удовлетворении потребности в необходимом оборудовании. Проект был осуществлен в 1984 году.

Оборудование заменяется на более производительное не только по причине абсолютной неспособности базового оборудования выполнять поставленные задачи. Необходимость определяется соотношением затрат и эффекта, получаемого от модернизации. Новые техно-



цессы и оборудование могут как высвободить производственные площади, так и оставлять их неизменными.

Таблица 4

Увеличение потребности в капитальных вложениях и снижение фондоотдачи при применении интенсивных технологических процессов, %

Наименование детали	Производитель	Метод изготовления	Увеличение потребности в капвложениях, %	Изменение фондоотдачи, % (- снижение, + увеличение)
Наружное кольцо подшипника 203	ОАО «СПЗ»	Штамповка на многопозиционных пресс-автоматах	23,08	-49,5
Наружное кольцо подшипника 2318	ОАО «СПЗ»	Штамповка на роторных линиях	31,74	-30,1
Качалка 425130-01 изделия «11»	ОАО «Воронежское акционерное самолетостроительное общество»	Механообработка на гибком производственном модуле АГПН (Югославия)	39,38	-52,2
Диск колеса 3110	ОАО «ГАЗ»	Холодная штамповка на пресс-автомате TOMATSU (Япония)	59,21	-44,73
Кузов «ГАЗель»	ОАО «ГАЗ»	Сварка робототехническим комплексом KR150 KUKA-ROBOTER (Германия)	69,86	-60,8
Наружное кольцо ШСП 50	ОАО «СПЗ»	Автомат (1Б265Н-6К)	87	+253

Так, внедрение обрабатывающих центров (гибких производственных модулей АГПН) позволило сократить производственные площади, ранее занимаемые универсальным оборудованием, более чем в два раза. Замена полуавтоматического оборудования для производства наружных колец подшипника ШСП50 автоматическим оборудованием сократила потребность в производственных площадях на 69,2%.

С учетом тенденции увеличения ставок платежей за пользование землей и арендных платежей, внедрение высокотехнологичного оборудования позволяет значительно снижать эту статью затрат в себестоимости продукции.

Обновление основных производственных фондов за счет более производительного автоматического оборудования в рамках базовой технологии и применение новых техпроцессов и оборудования с более высокими возможностями, характеризующими более высокий качественный уровень, являются необходимыми для развития предприятия в рыночных условиях. Но существует определенное количество факторов, не способствующих развитию инновационной деятельности на предприятии. К примеру, на ЗАО «Саратовский авиационный завод» жизненный цикл оборудования механосборочного цеха оценивается в 14,9 лет. Но уже сегодня требуется обновлять оборудование ускоренными темпами (ускоренная амортизация), сокращая сроки до 4-5 лет. Но пока вопрос не решен на государственном уровне, необходимо изыскивать как внутренние резервы, так и внешние источники финансирования.

В настоящее время очень трудно оценить реальную стоимость функционирующего оборудования. То оборудование, которое имеют отечественные предприятия, закупалось до 90-х годов. Последующие переоценки, сильные инфляционные процессы, нестабильность валютного рынка, денежные реформы, несовершенство законодательства и нормативных актов по переоценке и амортизации привели к тому, что настоящая стоимость оборудования некорректна. И, если предприятие планирует модернизировать производство, расчет эффективности нового варианта, по сравнению с действующим, будет затруднен в силу вышеперечисленных причин.

Таким образом, при расчетах сравнительной экономической эффективности вариантов проектов и при инвестиционном анализе, расчетах по базовому проекту, оборудование которого закупалось до 1990 года, следует исходить из реальной рыночной стоимости оборудования на данный момент с учетом износа, не полагаясь на стоимость закупки и коэффициенты переоценок.

В связи с вышесказанным следует адекватно оценивать первоначальную стоимость основных фондов или так называемую плату за вход, включающую стоимость проектирования, изготовления, инсталляции, обслуживания.

Задача определения максимально допустимой платы за вход может возникать при начинании новых видов деятельности. Так, модернизация оборудования может потребовать некоторых фиксированных издержек, связанных, например, с оплатой научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Вместе с тем, оборудование нового поколения позволяет существенно поднять производительность труда и значительно снизить издержки. Возникает проблема определения максимально допустимых фиксированных издержек, которые можно потратить на приобретение оборудования нового поколения.

Потребность в техническом перевооружении производства перманентна. Она диктуется факторами внешней среды и величина этой потребности зависит от экономического потенциала предприятия. В условиях ограниченности ресурсов предприятие вынуждено изыскивать резервы и рационально их использовать. Отсюда вытекает необходимость комплексного технико-экономического анализа производственной системы. Ориентация предприятия на финансовые результаты производственно-хозяйственной деятельности предопределила необходимость инвестиционного анализа технико-технологических изменений при рассмотрении их в качестве проектов. Большинство отечественных руководителей рассматривают только интегральную эффективность производства, не учитывая персональную экономическую эффективность проекта. Вследствие этого, реализация новых проектов не отслеживается в полной мере, поскольку по ним не ведется отдельного учета. Поэтому существует необходимость детального рассмотрения каждого проекта, расчета абсолютной эффективности по каждому проекту, оценки его влияния на интегральную эффективность и, в конечном счете, следует выбор из альтернативного ряда наиболее приемлемого.

К критическим моментам в процессе оценки единичного проекта или составления бюджета капиталовложений относятся:

- а) прогнозирование объемов реализации с учетом возможного спроса на продукцию (поскольку большинство проектов связано с дополнительным выпуском продукции);
- б) оценка притока денежных средств по годам;
- в) оценка доступности требуемых источников финансирования;
- г) оценка приемлемого значения цены капитала, используемого, в том числе, и в качестве коэффициента дисконтирования.

Анализ возможной емкости рынка сбыта продукции, т.е. прогнозирование объема реализации, наиболее существенен, поскольку его недооценка может привести к потере определенной доли рынка сбыта, а его переоценка – к неэффективному использованию введенных по проекту производственных мощностей, т.е. к неэффективности сделанных капиталовложений.

Что касается оценки притока денежных средств по годам, то основная проблема может возникнуть в отношении последних лет реализации проекта, поскольку, чем дальше горизонт планирования, то есть, чем более протяжен во времени проект, тем более неопределенными и рискованными рассматриваются притоки денежных средств отдаленных лет. Здесь могут вводиться понижающие коэффициенты, либо эти поступления вообще исключаются из анализа.

Проблема привлечения инвестиций в машиностроительные предприятия – не в отсутствии хороших проектов, а в сложившейся экономической ситуации и в определенной непривлекательности машиностроения в переходный период.

Такие показатели, как: задолженность в бюджет, нехватка собственных средств, низкая платежеспособность, низкая обновляемость основных фондов, являются наиболее существенными для инвестора при рассмотрении предприятия в качестве объекта инвестиций. Очевидно, что для внешнего инвестора данные показатели являются основными и фактически не отражают каких-либо перспектив. Такая ситуация сегодня характерна для большинства машиностроительных предприятий России и имеет следующие негативные признаки: длительный цикл производства; низкая оборачиваемость; высокая капиталоемкость; средняя доходность; растяженность дохода во времени.

В данной ситуации возможен вариант внутреннего инвестирования, то есть рационального управления денежными потоками, реализацией физически устаревшего оборудования.

Всякое негосударственное предприятие, стремящееся к получению максимальной прибыли, должно так управлять эффективностью производства, чтобы издержки на единицу выпускаемой продукции были минимальными. Рассмотрим ситуацию, при которой цены на перспективный период будут неизменными. При этом будут анализироваться лишь два фактора: капитальные вложения и результаты труда, которые на долгосрочный период являются переменными величинами, т.е. с изменением труда будет изменяться и показатель капитальных вложений, или наоборот – изменение инвестиций повлияет на количество производимого труда на предприятии.

Предприятие будет вкладывать средства в основные фонды до тех пор, пока отношение выпускаемой продукции в расчете на рубль капитальных вложений не станет равным отношению максимального выпуска продукции на единицу труда.

Предприятие, стремящееся максимизировать свою прибыль, должно решать два принципиальных вопроса: стоит ли ему продолжать свою деятельность; если стоит, то до каких пределов? Предприятие будет продолжать свою деятельность, если при достигнутом уровне производства его доход превзойдет издержки производства. И оно прекратит производство, если полученный суммарный доход от продажи товара не превысит издержки производства, за исключением маркетинговой тактики захвата или удержания позиций на рынке.

В связи с этим возникает необходимость поиска приемлемых форм целевого финансирования инновационных проектов предприятий и поддержания имеющегося оборудования на должном уровне.

Это возможно за счет объединения промышленного и финансового капитала. В данном случае финансовая структура (банк, инвестиционная компания, холдинговая компания) будет иметь полное представление о производственно-сбытовой деятельности предприятия, а имея долю в уставном капитале, то есть являясь собственником, будет способствовать развитию этого предприятия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов / В.В. Ковалев. М.: Финансы и статистика, 1998. 144 с.
2. Тренев Н.Н. Экономические механизмы управления / Н.Н. Тренев // Консультант директора. 1999. № 16. С. 26.

3. Белозор Н.Н. Развитие инновационного бизнеса в России: проблемы организационного и финансового характера / Н.Н. Белозор // Инновационная экономика в зеркале устойчивого развития: сб. науч. тр. Ч. 1. Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2005. С. 31-33.

**Распопова Марина Алексеевна** –  
аспирантка кафедры «Экономика и управление в машиностроении»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 342

**Ю.Е. Солодяшкина**

### **КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНЧЕСКОГО КОНСАЛТИНГА**

*Статья посвящена концептуальному подходу к процессу организации управленческого консалтинга. Раскрывается актуальность темы исследования, формулируются цели, задачи, общие и специфические принципы процесса организации управленческого консалтинга. На базе выделения продукта консалтинговой деятельности выстраивается схема организационного взаимодействия между бизнесом и консалтингом. Кратко описан новый механизм процесса организации управленческого консалтинга, позволяющий повышать эффективность такого взаимодействия.*

**J.E. Solodiashkina**

### **CONCEPTUAL APPROACH TO ORGANISATION OF EFFICIENT PROCESS OF MANAGEMENT CONSULTING**

*The article is devoted to conceptual approach to the process of management consulting. Topical research, major objectives as well as general and specific tasks on management consulting is formulated. The organizational scheme of business/consulting relationship is created on the basis of consultancy product. A new mechanism for organizational process of management consulting which provides efficiency increase is briefly described.*

История становления российского бизнеса (от кооперативов до сложноструктурированных холдинговых компаний) объективно приводит к пониманию высокой степени значимости развития рынка консалтинговых услуг. В настоящее время отечественный рынок уже демонстрирует стабильный спрос на консалтинг во всех областях деловой жизни. Однако формирующаяся на рынке потребность в комплексном системном управленческом консультировании еще не удовлетворяется в полной мере субъектами консалтинговой деятельности.

В рамках разработки концептуального подхода к организации эффективного управленческого консультирования нами рассмотрены цели и задачи, общие и специфические принципы процесса организации консалтинга, продукты и модельные схемы организации консалтинга.

**Цели:**

- удовлетворение потребностей российских промышленных предприятий в комплексном, системном консультировании;
- достижение высокой степени интегрированности участников процесса консультирования;
- обеспечение эффективности консультационного процесса;
- достижение долгосрочных перспектив взаимодействия промышленных предприятий и субъектов консалтинговой деятельности.

**Задачи:**

- изучение и выявление потребностей российских промышленных предприятий в консультировании;
- обеспечение механизмов эффективного процесса организации консультирования;
- создание интеграционной, координационной и мотивационной составляющей механизма организации консалтинга;
- налаживание партнерских отношений во взаимодействии промышленных предприятий и субъектов консалтинговой деятельности.

К общим принципам процесса организации консультирования относятся: целенаправленность, цикличность, реверсивность, гибкость, ротационность, коммуникационность, комбинаторность [3]. Наличие специфических принципов организации консультирования нами объясняется современными тенденциями совершенствования организации консалтинга: комплексность, креативность, взаимодействие на основе партнерских отношений. Специфические принципы организации консалтинга: использование индивидуального и группового потенциала участников взаимодействия [5]; целенаправленное объединение индивидуальной и групповой организации или кооперации, обеспечивающее интеграцию всех интересов [2]; индивидуальное и групповое обучение [1]; направленность на организацию изменений и развитие [4].

При рассмотрении консалтинга, как продукта рынка, нами выделяются три основных его вида:

Продукт **«экспертная оценка»**, характеризующийся единовременным привлечением консультанта – эксперта для диагностики поставленной или поисковой проблемы.

Продукт **«совместное достижение»**, заключающийся в совместной деятельности промышленного предприятия – заказчика и консультанта, направленной на достижение конкретного результата для компании.

Продукт **«новые компетенции»**, выражающийся в получении новых знаний, навыков сотрудниками промышленного предприятия, которые затем могут быть использованы для достижения целей компании. В то же время, консультанты также начинают овладевать новыми компетенциями, которые воздействуют не только на проблемы организации, но и на конкретных личностей предприятия, на его политику и корпоративную культуру.

На рисунке видно, что каждый консультационный продукт несет в себе определенный уровень знаний и степень интегрированности. Мы считаем, что такое поступательное развитие организационного взаимодействия позволяет добиваться поставленных стратегических задач, формируя и сохраняя при этом новые знания и навыки у сотрудников предприятия.

Важна степень вовлеченности предприятия – заказчика в деятельность консультантов, которая зависит от соотношения затрат времени персонала предприятия и результатов консультационной работы. Минимальная степень интегрированности, при этом, должна быть при экспертном консалтинге, а максимальная – при разработке стратегии и формировании управленческой команды, т.е. новых компетенций.

Нами предлагается механизм процесса организации управленческого консультирования – сопроводительный обучающий консалтинг, способный обеспечить эффективность взаимодействия российских промышленных предприятий и субъектов консалтинговой деятельности.

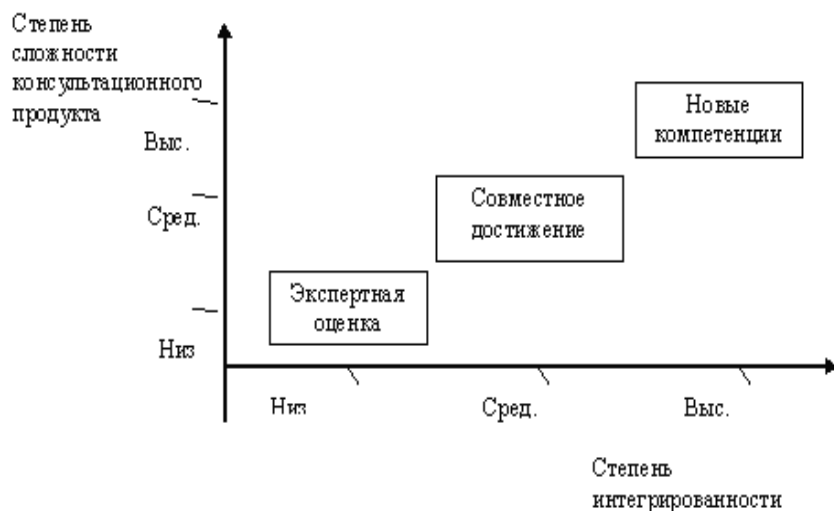


Схема организационного взаимодействия консалтинга и бизнеса

**Сопроводительное обучающее консультирование** – это механизм процесса организации консалтинговой деятельности, направленный на разработку и создание долгосрочных конкурентных преимуществ конкретного предприятия в целях достижения последним поставленных стратегических целей. Такая организация позволяет обеспечивать комплексность в предоставлении услуг за счет привлечения расширенного круга консультантов и высокой степени интегрированности консалтинга. Именно такое сопровождение позволяет сочетать применение различных (иногда противоречивых) приемов и методов консультирования, привносимых консультантами, с системностью, целевой направленностью в решении поставленных перед консалтингом задач.

Обучающий сопроводительный консалтинг имеет ряд особенностей, которые выделяют данный механизм организации консультирования компании:

- данное консультирование в первую очередь направлено на работу с управленческим звеном предприятия и непосредственно с его высшим руководством;
- сопроводительный обучающий консалтинг не исключает возможности командной работы консультантов, однако направлен, в первую очередь, на возможность привлечения как можно более широкого круга консультантов из различных функциональных областей и владеющих различными подходами и методами в консультировании. Координирующую задачу при этом решает один из ответственных консультантов, который контролирует и организует весь процесс сопровождения совместно с заказчиком;
- данный процесс организации консультирования рекомендует применять психологическую диагностику членов управленческой команды и VIP-сопровождение руководителя предприятия.

Основываясь на опыте консалтинговой деятельности, консалтинговой фирме, применяющей в своей работе организацию сопровождения клиента, требуется:

- наладить эффективные коммуникации с руководством и персоналом предприятия, добиться высокой степени доверия;
- обосновывать и координировать в процессе сопровождения степень применения тех или иных методов и подходов в консультировании;
- создавать совместно с заказчиком программу консультационного сопровождения, которая представляет собой поэтапное определение алгоритма намеченных совместных работ;

– контролировать выполнение запланированных работ и полученного результата, зафиксированных в определенном техническом задании;

– формировать творческие группы из консультантов различных специализаций, осуществлять поиск наиболее оптимальных специалистов с учетом программы сопровождения, особых требований предприятия-заказчика и его финансовых возможностей.

Таким образом, предлагаемый механизм процесса организации консалтинга направлен на создание взаимодействия между предприятиями и субъектами консалтинговой деятельности. Целью взаимодействия при сопроводительном обучающем консалтинге является, в первую очередь, взаимная удовлетворенность работой друг с другом. Это не исключает необходимости заранее оговаривать конкретные результаты работ, которые планируется получить в интересах бизнеса. Сопроводительное обучающее консультирование позволяет детализировать эти результаты, определять их последовательность и дифференцировать в зависимости от методов и подходов в консультировании, степени участия конкретных консультантов. Это позволяет, в свою очередь, дифференцированно подходить и к оценке совместной работы, совершенствовать те участки работ, которые этого требуют.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акатов Н.Б. Система подготовки специалистов высшей управленческой квалификации / Н.Б. Акатов // Стратегия развития регионов: теория и практика: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 1998. 125 с.

2. Васильев Г.А. Управленческое консультирование / Г.А. Васильев, Е.Д. Деева. М.: ЮНИТИ, 2004. 255 с.

3. Латфуллин Г.Р. Теория организации / Г.Р. Латфуллин, А.В. Райченко. СПб.: Питер, 2004. 258 с.

4. Посадский А.П. Основы консалтинга / А.П. Посадский. М.: ГУ ВШЭ, 1999. 240 с.

5. Карделл С. Стратегическое сотрудничество / С. Карделл. М.: Гранд-фаир, 2005. 256 с.

**Солодяшкина Юлия Евгеньевна** –  
заведующая кафедрой «Управление финансами»  
ГОУ ДПО ИПК-«РМЦК», г. Пермь

## ГУМАНИТАРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

---

УДК 330.142

Ю.Г. Быченко, Н.В. Горбунова

### ОСОБЕННОСТИ ВОСПРОИЗВОДСТВА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

*Рассматриваются источники, стадии и этапы развития человеческого капитала, доказываемся, что в современных условиях при неизменных прочих параметрах повышение совокупного объема потребительного фонда и рост уровня жизни населения общества ведет к развитию человеческого капитала через формирование его новых количественных, качественных и стоимостных характеристик. И, напротив, при прочих равных условиях понижение совокупного объема потребительного фонда общества и падение уровня жизни населения ведет к замедлению (а при определенных условиях и приостановке) развития человеческого капитала, сокращению темпов его обновления, что неизменно отражается на всей экономической ситуации в обществе, замедляет показатели его экономического и социального развития.*

U.G. Bychenko, N.V. Gorbunova

### PECUKIARITIES OF HUMAN CAPITAL REPRODUCTION IN MODERN RUSSIA CONDITIONS

*This article describes sources, phases and stages are considered, also item proves that in modern conditions with other permanent characteristics increasing of all costumer fund's content and rising live standard of society lead to human capital development by way of shaping his new quantities, qualitative and cost characteristics. Quite the reverse decreasing of all costumer fund's content of society (with other equal conditions) and falling live standards of society lead to deceleration (with determinate conditions even it withholding) of human capital development, lead to reduction of his renewal rates (tempos), that reflects on all economic situation in society, slow down (shift into low gear) his economic and social activities of development.*

Развитие человеческого капитала – это сложный процесс, главным источником которого являются инвестиции. Конечным результатом данного развития является, с одной сто-



роны, качественное совершенствование жизнедеятельности общества, с другой – не просто развитие совокупных качественных свойств работников, но и расширенное воспроизводство работника как носителя человеческого капитала. Подтверждение данного положения находим в современных исследованиях, где доказывается, что рабочие становятся капиталистами не благодаря приобретению ими корпоративных акций, а посредством приобретения знаний и квалификации, имеющих социально-экономическую ценность. Эти знания и квалификация в большей своей части составляют цель инвестиций в человеческий капитал.

Современная теория капитала связывает важнейший отличительный признак человеческого капитала с тем, что он часть самого человека, воплощен в человеке и составляет источник удовлетворения его будущих потребностей и заработков. В условиях рыночной системы хозяйствования, человеческий капитал – это неотчуждаемый от человека актив, он не может быть оторгнут от конкретного работника, он может приобретаться не покупкой на рынке, а путем инвестиций в человека.

Поэтому в рыночных условиях хозяйствования принято рассматривать формирование человеческого капитала через инвестиции в структуры, его развивающие и производящие, исходя из концепции «предельной полезности» и «предельной производительности». Инвестирование в свой человеческий капитал частные лица осуществляют, руководствуясь своими реальными выгодами, которые обусловлены функцией полезности (предпочтения). Индивид стремится максимизировать не свои заработки, а полезность, уровень которой он заинтересован постоянно повышать. В этой связи экономисты и социологи справедливо отмечают, что для того, чтобы человеческий капитал был экономически оправдан, труд должен оплачиваться в соответствии с тем, что он производит, а работники, носители человеческого капитала должны получать свой предельный продукт. Если работник получает свой предельный продукт, то его заработки отражают возможность воспроизводства человеческого капитала, а значит, создаются объективные условия повышения производительных способностей работника.

Данные теоретические подходы позволяют рассматривать цену человеческого капитала как определяющий фактор формирования заработной платы работника. Приходится учитывать, что заработная плата как форма ценового проявления стоимости человеческого капитала в современных условиях объективно распадается на две части: основную и дополнительную.

Основная заработная плата – это часть цены человеческого капитала, отражающая стоимость жизненных средств, связанных с восстановлением умственной и физической энергии работника, затрачиваемой последним в процессе осуществления трудовой деятельности, а также затрат на содержание его семьи.

Основная заработная плата призвана обеспечить удовлетворение физических и духовных потребностей работника и его семьи в относительно неизменном виде. Собственник человеческого капитала, работая определенный период, должен быть в состоянии повторить в последующем тот же самый трудовой процесс при прежнем уровне физической силы и здоровья. Следовательно, сумма жизненных средств, возобновляющая основную стоимость человеческого капитала, должна быть достаточной для того, чтобы поддержать трудящегося индивидуума в состоянии нормальной жизнедеятельности, а также обеспечить ему возможность иметь семью, детей, создать условия для их нормального существования. Поэтому основная заработная плата обеспечивает только простое воспроизводство человеческого капитала без существенных изменений его качественного состава. По существу она представляет собой амортизацию человеческого капитала как процесс переноса стоимости экономически задействованного человеческого капитала в результате износа на производимый с его помощью духовный или материальный продукт и последующее использование этой стоимости для простого воспроизводства общественного человеческого капитала.

Необходимо отметить, что в каждой единице вновь созданного духовного или материального продукта воплощается часть стоимости человеческого капитала, пропорциональ-

ная его износу. Основная заработная плата представляет собой ту часть стоимости человеческого капитала, которая по мере износа переносится на себестоимость готовой продукции и существует вначале как стоимость незавершенного производства духовного или материального блага, затем как часть стоимости готового блага (в составе его себестоимости), после реализации блага и оплаты его – в виде денежной суммы – амортизационного фонда человеческого капитала (основного фонда заработной платы работников), и только затем данный фонд превращается в стоимость жизненных средств, необходимых для восстановления энергии работника и поддержания его силы. Поэтому движение данной части стоимости человеческого капитала охватывает как систему производства, так и потребления, оно обеспечивает простое воспроизводство человеческого капитала в потенциальной и реально задействованных формах, что и предполагает обеспечение условий нормального существования индивида как носителя человеческого капитала, то есть субъекта труда.

Одновременно необходимо заметить, что существование индивидуума как носителя человеческого капитала предполагает воспроизводство его способности к труду и качественных свойств в неизменных объемах, а также в поддержании нормальной жизни работника и его семьи. Для осуществления последнего индивидуум нуждается в известной сумме денежных средств, позволяющих ему приобрести необходимые жизненные средства. Поэтому рабочее время, необходимое для осуществления простого воспроизводства человеческого капитала, равно рабочему времени, необходимому для производства вышеуказанных жизненных средств. Если предположить, что объективные условия общественного хозяйства ставят необходимым расширение воспроизводства человеческого капитала, то оно может осуществляться при расширенном потреблении духовных и материальных жизненных средств, способных не только возобновить, но и развить качественные и количественные характеристики человеческого капитала как совокупные способности к труду.

В случае неполучения собственниками человеческого капитала своего предельного продукта капитализированные заработки не могут быть использованы для измерения реальной производительной способности работника. Данная ситуация способствует трансформации структуры инвестиций, которая отражала бы изменение предпочтений индивидов в выборе объекта инвестирования. Ясно, что человеческий капитал перестал бы интересовать индивида как с точки зрения мотива его внешнего инвестирования, так и с точки зрения самоинвестирования из своих собственных сбережений, которые ему было бы выгодно вкладывать в другие объекты, дающие дополнительные доходы или заработки, соответствующие денежным суммам, вложенным в них. Поэтому в такой ситуации, когда капитализированные заработки отражают уровень сформированного человеческого капитала работника, а значит и реальный вклад в уровень производительности труда каждого работника, человеческий капитал можно рассматривать и как объект инвестирования со стороны частных лиц, а не только государства и предприятия. В данных условиях человеческий капитал можно рассматривать в качестве реального источника экономического роста и развития.

Исходя из представленных теоретических подходов, к инвестициям, развивающим человеческий капитал, необходимо относить расходы по поддержанию и укреплению здоровья, на получение новых производственно необходимых знаний, умений и навыков, на развитие умственных способностей, совершенствование творческих способностей личности, развитие потребительских способностей, культуры труда работников и т.д. Одним словом, инвестиции, способствующие развитию каждой из стадий совершенствования человеческого капитала, необходимо отнести к инвестициям, формирующим человеческий капитал, при условии, что уровень формирующегося потенциального человеческого капитала максимально приближен к потребностям системы общественного воспроизводства.

Инвестирование в человеческий капитал является выгодным как для самого работника, так и для государства, работодателя, общественных организаций, третьих лиц. Работник стремится повысить уровень доходов, профессиональный статус, получить большее удовле-

творение от трудовой деятельности, улучшить условия труда. Работодатель стремится к повышению производительности и эффективности труда, инновационной активности работника, сокращению потерь рабочего времени, сокращению травматизма, что в итоге должно способствовать повышению конкурентоспособности фирмы. Государство стремится к росту поступлений в бюджет от деятельности конкурентоспособных организаций, достижению экономического роста, повышению уровня жизни граждан, повышению инновационной активности и субъективной культуры населения.

При этом инвестиционные потоки реализуют развитие человеческого капитала на двух стадиях.

Первая стадия предполагает обеспечение финансовых условий саморазвития носителей человеческого капитала. Инвестиционные вложения в человеческий потенциал на этой стадии приводят к наиболее высокому результативному эффекту, поскольку здесь имеет место наибольший динамический рост способностей индивида, наибольшая эффективность капиталовложений в зависимости от срока, в течение которого предполагается их окупаемость. В порядке перехода от начальной стадии обучения до этапа специальной подготовки предстоящая длительность периода окупаемости затрат неуклонно сокращается, и выгодность капиталовложений в потенциальный человеческий капитал увеличивается. В то же время динамика развития потенциального человеческого капитала от единицы вложения тем выше, чем в более раннем возрасте они осуществлены. Ранний период вложений в индивида представляет собой своеобразную интеллектуальную базу будущего, его образовательных и творческих способностей, которые проявят себя в будущих периодах обучения и трудовой деятельности.

Данная стадия, являясь базовой, отражает воспроизводство человеческого капитала в расширенном масштабе через задействование механизма внутреннего саморазвития человека. Она осуществляется различными способами, из которых можно выделить три главных.

Первый. Реализация инвестиций в семейном бюджете, обеспечение тем самым дополнительных финансовых условий увеличения состава семьи, рост рождения детей, рост разумных потребностей ее членов, саморазвитие совокупных физических, интеллектуальных и образовательных способностей, что и составляет основу формирования новых качеств человеческого капитала в потенциальной форме.

Второй. Реализация инвестиций в системах здравоохранения и культуры, не только обеспечивающих условия восстановления биологического и психологического человеческого капитала, но и устраняющих эффект чрезмерно раннего старения (как процесса преждевременной потери стоимостной основы человеческого капитала), а также профилактического роста биологических и психологических качеств человека труда.

Третий. Реализация инвестиций, обеспечивающих условия всякой физической и умственной деятельности человека. Это инвестиции в науку и образование, которые создают условия для качественного прорыва к новой экономике и новому качеству жизни. Инвестирование в образование дает эффект не с увеличением доступа к нему, а с обеспечением его высокого качества. Последнее определяет усиление связи между величиной средств, инвестируемых в образование, и его социально-экономическими результатами. Ведь при определенных условиях деятельность, и в особенности трудовая деятельность, – это не только форма реализации человеческого капитала, но и форма самосовершенствования и саморазвития человека как носителя представлений, знаний, умений, навыков, способностей, культуры труда, в том числе и составляющих основу человеческого капитала.

Таким образом, первая (базовая, экстенсивная) стадия развития человеческого капитала отражает инвестиционное обеспечение процесса расширенного человеческого потребления, внутреннего саморазвития человека, как носителя человеческого капитала. Инвестиции в человека здесь обеспечивают объективные условия для биологического и интеллектуально-образовательного саморазвития человека как субъекта экономической деятельности.

Данная стадия развития преимущественно осуществляется через инвестиции в семейный бюджет, повышение доходов граждан, а также в систему здравоохранения. Она призвана обеспечить расширенное потребление граждан, а также развитие их общих способностей к всякому труду, в том числе и экономическому.

Способность к экономическому труду и способность к потреблению является всеобщей способностью человека, поэтому и их материальное воплощение осуществляется через рост общих доходов граждан, что создает экономические условия развития всей человеческой жизнедеятельности в единстве совершенствования способностей и потребностей людей. Вторая (высшая, интенсивная) стадия развития человеческого капитала предполагает реализацию инвестиций в целенаправленное создание экономически ценных и необходимых качественных свойств и характеристик носителей человеческого капитала, то есть инвестиций в системы науки и образования, где производится интеллектуально-образовательный человеческий капитал.

Инвестиции в науку и образование условно делятся на формальные и неформальные. Формальные инвестиции в образование определяют получение населением профессионального среднего, специального и высшего образования, профессиональной подготовки и переподготовки в процессе трудовой деятельности, обучения в аспирантуре, докторантуре.

Неформальные инвестиции в образование являются предпосылкой самообразования индивида в результате чтения научной и художественной литературы, игрового и тренингового компьютерного развития, занятий искусством, физической культурой и спортом, совершенствования в различных кружках.

Накопление интеллектуально-образовательного капитала определяет не только освоение работником новых знаний, но развитие профессиональных умений и навыков, экономической культуры. При этом в современных условиях возрастает роль профессиональной подготовки, которая все в большей степени выступает как механизм инновационного развития работников.

Исходя из данных теоретических подходов, можно вывести некоторые закономерности развития человеческого капитала.

При неизменных прочих параметрах повышение совокупного объема потребительного фонда и рост уровня жизни населения общества ведет к развитию человеческого капитала через формирование его новых количественных, качественных и стоимостных характеристик. И, напротив, при прочих равных условиях понижение совокупного объема потребительного фонда общества и падение уровня жизни населения ведет к замедлению (а при определенных условиях и приостановке) развития человеческого капитала, сокращению темпов его обновления, что неизменно отражается на всей экономической ситуации в обществе, замедляет показатели его экономического и социального развития.

Формулируя эти закономерности, вряд ли можно претендовать на конечную истину. Тем не менее, в порядке постановки предложение это не лишено рациональности, поскольку фонд потребления и уровень жизни населения не только определяют простое воспроизводство биологических свойств работника и его семьи, они отражают возможность расширенного потребления как основы роста биологического, образовательного и интеллектуального потенциала (а значит и человеческого капитала) членов семьи работника. При этом необходимо учитывать, что в обществе всегда имеет место также обмен части дополнительного потребительного фонда на труд производителей информационно-образовательных услуг. Здесь обучающийся субъект оплачивает услуги по образованию частично или полностью сам, или может это сделать за него общество предварительно или впоследствии, получая от него собственный труд или часть увеличенного дохода в перспективе. На поверхностном уровне обучающийся субъект развивает свою физическую и духовную способность к потреблению, приобретая при этом новые способности к трудовой деятельности. Обучающийся субъект получает способность в виде интеллектуально-образовательного потенциала, отражающего сформированный человеческий капитал работника. Научный, обучающий и обслуживающий

персонал здесь в обмен на научно-созданный и образовательно-тиражируемый рост способностей к труду приобретает возможность к расширенному потреблению, получает возможность расширенно удовлетворять свои потребности.

Подтверждение наших выводов мы находим в публикациях зарубежных экономистов и социологов. Целый ряд исследователей констатируют тот факт, что развитие человеческого капитала на микро- и макроуровнях происходит в сложных многокоординатных формах, при этом доказывается прямая зависимость динамики накопления человеческого капитала и роста уровня жизни населения. Г.И. Климантов и Н.М. Мухетдинов отмечают, что состояние человеческого потенциала нации в значительной степени определяется достигнутым уровнем жизни населения. В свою очередь, уровень жизни в стране зависит от совокупной величины денежных доходов, степени неравномерности их распределения, покупательной способности доходов и объема бесплатных (для конечного потребителя) благ, предоставляемых обществом. Как показывают исследования, большая масса совокупных доходов даже при значительном неравенстве обеспечивает высокий средний уровень [1]. При этом авторы рассматривают и обратные ситуации, когда высокие жизненные стандарты достигаются меньшими совокупными доходами при их более равномерном распределении. Доказывается, что уровень жизни зависит от государственного регулирования и политики доходов. При этом денежные доходы играют главную роль в формировании уровня жизни, основным источником регулирования доходов населения является объем валового внутреннего продукта (ВВП), величина ВВП на душу населения.

Если же проанализировать Доклады о развитии человека ООН, начиная с первой их публикации в 1991 году, то можно сделать вывод, что по сегодняшний день экспертами не определен какой-либо метод многомерной оценки человеческого развития. В то же время необходимо согласиться с выводами экспертов о том, что идеальный вариант расчета флуктуаций развития человеческого капитала отсутствует, имеет место только общая зависимость качественных положительных сдвигов в структуре человеческого капитала от параметров роста уровня жизни населения того или иного сообщества. Обобщая опыт международной практики ПРООН учета флуктуаций развития человеческого капитала по различным странам, необходимо констатировать, что в рамках данных исследований намечен ряд показателей, которые объективно сложились за последние 10 лет в процессе поиска, пересмотра, разработки и обоснования новых подходов и дополнений. Отметим, что базовыми показателями здесь необходимо считать уровень жизни, который определяет условия и качество жизни человека, трансформируясь в стили потребления, комплексно определяя долголетие, образованность, социальную структуру общества.

Именно уровень жизни характеризует доступ к ресурсам, необходимым для достойного существования, и рассматривается как средство, расширяющее возможности выбора. Дополнительными показателями в литературе указываются совершенно разные показатели, среди которых и показатели, имеющие второстепенное отношение к человеку и его развитию. При этом необходимо отметить, что в менее развитых странах и странах с переходной экономикой (куда мы по-прежнему должны включать и Россию) материальный уровень жизни оказывается ключевой характеристикой, так как именно отставание в этом измерении предопределяет общий низкий уровень человеческого потенциала.

Необходимо отметить, что уровень жизни определяет условия жизни человека, влияя на объективные обстоятельства жизнедеятельности населения (занятость, характер труда, формы расселения, характер жилища, доходы и имущественная обеспеченность семей; развитие системы социальных выплат и отраслей социальной сферы и т.д.). Поэтому можно говорить, что уровень жизни – это базовый показатель развития человеческого капитала, который прямо или косвенно формирует условия всего спектра качества жизни и благосостояния человека. Одновременно можно утверждать, что рост уровня жизни способствует сокращению бедности. Бедность в широком смысле можно определить как социально-экономическое

положение части домашних хозяйств, стоящих на относительно низком уровне обеспечения денежными, имущественными и другими ресурсами, а, следовательно, и на низком уровне удовлетворения своих естественно-физиологических, материальных и духовных потребностей. В мировом Докладе о развитии человека в 1996 году проблема бедности трактуется как отсутствие или незначительность возможностей удовлетворения человеческих потребностей и развития человеческих способностей, возможности долгой и здоровой жизни, получения образования, доступа к ресурсам, необходимым для достойной жизни, а не только как низкий уровень дохода на душу населения.

В зарубежных научных исследованиях в этой связи доказывается, что процессы общего развития человеческого капитала и обычная потребительная реализация уровня жизни человека для поддержания своей жизнедеятельности на практике не имеют рамок жесткого разграничения.

Поэтому уровень жизни и потребительные затраты, его отражающие, данные ученые верно рассматривают как общие параметры, связанные с разрешением обеих проблем одновременно – поддержания и развития всей жизнедеятельности человека, в том числе и в экономической области. Л. Туроу в этой связи пишет: «Между тем питание и сон столь же необходимы для потребительной деятельности, как и для производственной и инвестиционной деятельности. По существу потребление, производство и инвестирование представляют собой совместные продукты деятельности человека в целях поддержания. Поскольку же они являются совместными продуктами издержек на поддержание, не существует никакого способа распределить эти издержки на поддержание среди различных видов деятельности» [2].

Выводы Л. Туроу представляются научно обоснованными. Ведь, по сути, любое внутреннее или внешнее самосовершенствование человека требует условий простого его биологического воспроизводства. Поэтому уровень жизни, определяя основы биологического воспроизводства человека, представляет собой характеристику возможностей расширенного воспроизводства его биологических свойств, которое включает в себя важнейшие параметры человеческого капитала. Рост уровня жизни людей с экономической позиции необходимо рассматривать как стоимостную трансформацию возрастающего дохода в доступ различных групп населения к материальным ресурсам, образовательному развитию, необходимым для достойного существования, профессионального роста. Он определяется изменением норм материального и духовного потребления индивида, получением новых возможностей ведения здорового образа жизни, обеспечением территориальной и социальной мобильности, обмена информацией и участия в инновационной жизни общества.

Таким образом, рост уровня жизни является основным, «критическим» фактором, создающим условия роста профессионального выбора и трудового дохода человека. Поэтому рост уровня жизни индивида, по сути, совершенствует материальный стандарт его жизни, открывает новые социально-экономические возможности жизнедеятельности, создает объективные условия для изменения профессионального статуса в обществе. Данный рост необходимо представлять в виде объективной предпосылки расширения профессиональных возможностей человеческого выбора. В данном ракурсе накопление трудовых способностей работником необходимо рассматривать как предпосылку и основу для развития потребления и совокупных способностей населения. При этом рост уровня жизни индивида и характер создания и накопления общественных ценностей определяет развитие трудовых способностей индивидов, расширяет имеющиеся и определяет новые профессиональные возможности, тем самым создает условия повышения доходов, изменения статусного положения человека. В то же время, открывая новые профессиональные возможности, рост уровня жизни не определяет использование этих возможностей. Рост уровня жизни – это средство расширения возможностей профессионального выбора, но не сам профессиональный выбор индивида.

Анализ развития ведущих стран мира доказывает данное предположение. С одной стороны, рост показателей национального богатства, национального дохода страны в целом, доходно-

сти региона и отдельных организаций не гарантирует динамичного развития человеческого капитала. С другой – данный рост не гарантирует создания объективных условий динамичного социально-экономического прогресса страны в будущем. В то же время рост уровня жизни предполагает развитие комплексов потребностей различных групп людей, которые, в свою очередь, определяют развитие потребительной определенности общей способности человека к труду.

Исходя из вышеизложенного, мы считаем, что базовым источником развития человеческого капитала является рост уровня жизни населения, проявляющийся в положительных изменениях валового внутреннего продукта на душу населения. Данный показатель необходимо представить как промежуточный, определяющий экономический результат, отражающийся в развитии потребностей и общих способностей членов общества.

По мере усиления человеческого развития в обществе объективно должен наблюдаться рост однородности потребителей, а также выравниваться уровень жизни людей, исходя из их возможности удовлетворения общественно значимых потребностей. Поэтому развитие человеческого капитала, опирающееся на демократические права и свободу личности, должно в перспективе приводить к тому, что личные потребности в обществе станут более однородными. Данное условие и представляет собой социально-экономический фактор реализации человеческого развития в обществе. Он приводит к динамичным положительным изменениям социально-экономических показателей общественного развития в целом, а также совершенствованию частных показателей человеческого развития: развитию продолжительности жизни, здоровья нации, образования.

Рост уровня жизни не может полностью отождествляться с развитием человеческого капитала, он представляет собой отправную экономическую базу человеческого развития в целом и человеческого капитала в частности. С другой стороны, он способствует совершенствованию способностей человека к трудовой деятельности, а значит, расширяет экономические возможности человеческого выбора. Кроме того, он определяет расширение социально-экономических возможностей людей в процессе их жизнедеятельности.

Рассмотрим объективные условия развития человеческого капитала, исходя из динамики уровня жизни в России. Уровень жизни большинства населения России снижался на протяжении длительного времени. За годы социально-экономических реформ он упал более чем у половины населения. При этом реальные доходы населения снизились в два раза, ухудшились практически все показатели уровня и качества жизни населения России. Более трети россиян в настоящее время имеют доходы ниже прожиточного минимума. «Реальные денежные доходы в семьях уменьшились более чем на 30%. Фонд оплаты труда сегодня составляет всего 37% к уровню 1990 г. Калорийность питания снизилась примерно на 10%, потребление белков – на 20%. Общая численность безработных выросла до 14% экономически активного населения» [3].

Можно проследить несколько этапов падения уровня жизни населения. Первый этап (1992-1995 годы) был связан с либерализацией цен правительством Е. Гайдара, а также с высокой инфляцией, обесценившей накопления граждан. Второй этап падения уровня жизни населения связан с финансовым кризисом 1998 года, после которого даже экономическое оживление, начавшееся в 1999 году, не дало возможности восстановить предкризисный уровень реальных доходов населения. К началу 2001 года реальные располагаемые денежные доходы остаются на уровне 77% от 1997 года.

Необходимо отметить, что в современных условиях России показатели уровня жизни ухудшаются в связи с низким уровнем у основной массы населения величины заработной платы, пенсий, пособий и стипендий. В условиях оживления экономической деятельности в стране в целом за 2000 год реальные денежные доходы населения составили 110%, а реальная заработная плата – 120% к уровню 1999 года. Однако, как отмечалось выше, это увеличение не позволило достигнуть уровня жизни предкризисного 1997 г. Несмотря на то, что реальные денежные доходы населения в 2001 году выросли более чем на 5%, они достигли

только 80% от уровня 1997 года. Динамика роста доходов населения в 2002-2005 годах позволяет достичь реальных денежных доходов 1999 года только в 2007 году.

Не менее важной проблемой является нарушение структуры потребления. В 90-х годах XX века начинает резко расти доля расходов населения на покупку продуктов питания в общем объеме потребительских расходов. При этом доля расходов на товары непродовольственного назначения сокращается с 42,4% в 1993 г. до 31,8% в 1995 г., оплаты услуг культурного назначения с 0,4% в 1993 г. до 0,2% в 1995 году.

Анализ уровня жизни населения России показывает, что в структуре общества складывается два существенно различающихся по уровню жизни слоя. Первый – слой высокой материальной обеспеченности, второй – бедности. Ведущие российские социологи убедительно доказывают, что слой высокой материальной обеспеченности – это слой людей, у которых сохранился или увеличился дореформенный уровень благосостояния. Данный слой, по мнению Н.М. Римашевской, включает 25-30 млн. человек, или пятую часть населения. Из них 8-10 млн. человек (5-7% населения) практически достигли западных стандартов потребления продуктов питания, предметов гардероба, товаров бытового и хозяйственного назначения, услуг. Слой бедности, где среднедушевые доходы не покрывают прожиточный минимум, по объективным оценкам, охватил почти 60 млн. человек, то есть около 40% населения. При этом денежные доходы 25-30 млн. человек оказались ниже стоимости минимальной потребительской корзины, что соответствует критерию нищеты.

В промышленно развитых странах дифференциация доходов до определенных пределов является благоприятным фактором экономического развития, так как увеличивает накопления отдельных групп населения, которые вкладывают значительную часть своих накоплений в виде капиталов в экономику страны и тем самым оживляют инвестиционную деятельность. В России такой экономической стереотип в настоящее время не действует: огромные масштабы, как известно, приняло «бегство капиталов» из России «новых русских», использующих их в значительной мере непроизводительно, на личное потребление.

В современной России одним из наиболее острых отрицательных последствий снижения доходов является изменение рациона питания среднестатистического жителя России. Так, расходы населения в России в конце 90-х годов XX века распределяются в следующем диапазоне: покупка товаров и услуг – от 64,5 до 75%; обязательные платежи, налоги, взносы – от 6,8 до 10,0%; накопление сбережений во вкладах и ценных бумагах – от 6,5 до 8,7%; покупка валюты – от 6,9 до 19,4%. Часть доходов (0,5%) остается на руках населения неиспользованной [4]. Изменяющаяся структура расходов показывает, что преобладающая часть текущих денежных доходов населения расходуется на покупку и оплату товаров и услуг. Потребление мясных и молочных продуктов на начало 2000 года опустилось до уровня 1960 г., рыбы и рыбопродуктов – до уровня пятидесятых годов, а необходимая для нормальной жизнедеятельности людей калорийность в последние годы обеспечивается в основном за счет потребления хлебных продуктов, картофеля и сахара.

По данным Госкомстата России, при общем уровне инфляции за 2000 год 20,2% и росте тарифов на услуги в среднем на 33,7%, жилищно-коммунальные услуги стали дороже на 42,6%. Рост тарифов на жилищно-коммунальные услуги оказался в 2000 г. выше, чем в 1999 г., когда он составлял лишь 32,3%.

В 2001-2005 годах рост тарифов на жилищно-коммунальные услуги продолжился, что выдвигает реформу жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) в одно из наиболее конфликтных направлений социального реформирования, оказывающее сильное негативное воздействие на уровень жизни. В 2000 году услуги учреждений культуры стали дороже на 40,2% (в 1999 г. – на 51,4%), пассажирского транспорта – на 34,8% (43,1%), санаторно-оздоровительные – на 34,7% (41,5%), услуги связи – на 30,7% (35,2%), медицинские – на 22,9% (35,0%), бытовые – на 21,8% (26,2%), образования – на 19,2% (29,2%), дошкольного образования – на 16,7% (30,8%) [5].



В различных правительственных документах подчеркивается в качестве главных приоритетов социальная сфера и борьба с бедностью [6]. Однако анализ состояния важнейших социальных показателей в принятом бюджете страны на 2006 год вынуждает сделать вывод о том, что он закрепляет бедность как норму жизни. Исследования отечественных и зарубежных экономистов и социологов показывают, что минимальные пенсии и зарплаты в последующие годы будут, как и в предыдущие годы, значительно отставать от прожиточного минимума.

Хотя, начиная с 1995 года показатели уровня, сначала стабилизируются, а затем и несколько улучшаются, но темпы данных улучшений явно недостаточны. Дополнительно к этому необходимо отметить, что по совокупным параметрам негативные тенденции в развитии России до сегодняшнего дня преодолеть не удалось. «В среднем за 1998 г. 47,8% населения имели денежные доходы ниже прожиточного минимума (ПМ) и, по существу, являлись бедными, 30,1% относились к малообеспеченным – их денежные доходы располагались в промежутке между одним и двумя ПМ. Первое полугодие 1999 г. также не принесло перелома, хотя в экономике и наметилось некоторое оживление. Уровень покупательной способности денежных доходов снизился на 19,4 процентных пункта и составил 1,41 набора ПМ. По оценке специалистов Всероссийского центра уровня жизни (ВЦУЖ), доля населения с денежными доходами ниже прожиточного минимума в целом по Российской Федерации за рассматриваемый период выросла до 56,7%. Дифференциация денежных доходов 10% наиболее и наименее обеспеченного населения составила 13,5 раз» [3]. Данные выводы официальной статистики подтверждаются и выводами проведенных социологических опросов по ряду регионов России. Так, согласно данным социологического опроса, проведенного Ронге Фолкером, «у 2/3 опрошенных домохозяйств размеры совокупных доходов ниже среднего; чуть более трети домохозяйств не имеют уровня доходов, составляющего хотя бы 50% от среднего» [7]. Результаты представленного исследования однозначно говорят о том, что для большинства населения последние реформы в России сопровождаются значительным падением жизненного уровня. «В период социалистического развития российское общество перешло в такое состояние, когда наемный труд на госпредприятиях и в госучреждениях стал для небольших семей, живущих в маленьких квартирах урбанизированных центров, основным источником средств к существованию. В большинстве случаев он по-прежнему сохраняет эту роль. Старшие родители, несмотря на пенсионный возраст, продолжают по возможности участвовать в такого рода деятельности» [7]. При этом отмечается существенный спад доли респондентов, декларирующих свою бедность, увеличивается доля респондентов среди меньшинства населения, стремящихся продемонстрировать свое богатство. Они не стремятся его скрывать, даже перед бедными, в окружении бедных; как раз наоборот, они стремятся продемонстрировать свое богатство.

Уровень бедности в 2005 году устойчиво сохраняется на высоком уровне. Сокращение бедности возможно только при условии реформирования общества в целом, включая его социальную и экономическую инфраструктуру. Необходимо создание комплексных условий повышения заработной платы и пенсий, сокращения безработицы, устранения резкой дифференциации доходов. Прожиточный минимум в 2006 году по-прежнему гарантирует лишь элементарную выживаемость, при этом правительство явно не осознает необходимости пересмотра и увеличения его реального показателя. Н. Римашевская, директор Института социально-экономических проблем народонаселения РАН, подчеркивает сохранение низкого уровня жизни населения в настоящее время. Она убедительно доказывает, что в ближайшее время состав населения, являющегося бедным, может быть определен не 30%, а 40% населения, то есть более 60 млн. чел. «В условиях, когда разброс субъектов Федерации по уровню бедности очень велик (от 15 до 50% и более), нельзя обязать все регионы решать проблему бедности самостоятельно, не предоставив необходимых финансовых ресурсов» [8].

Все более остро необходимо повышение реальной заработной платы, изменение механизма перераспределения доходов населения. «Как бы ни рос ВВП, без существенного пе-

перераспределения доходов проблему бедности не решить. Ведь в настоящее время при росте ВВП на 1 руб. доходы богатых возрастают на 3 руб., а бедных – на 15 коп. Если в последние годы число миллиардеров увеличилось вдвое, то ясно, куда ушел прирост ВВП» [8].

Таким образом, анализ уровня жизни населения за время реализации реформ показывает, что резкая дифференциация и падение доходов основной массы россиян привели к значительному снижению уровня жизни населения России. Возможность удовлетворения потребностей людей только на физиологическом уровне ухудшает качество человеческого потенциала, лишает работника необходимых стимулов к производительному труду.

Растет социальное расслоение населения. Формирование «двух социальных России» чревато социальным взрывом и требует принятия специальной программы неотложных мер по повышению доходов основной массы населения страны и сглаживанию существующих диспропорций. Реализация политики государства по перераспределению доходов между различными социальными группами населения возможна путем дифференцированного, прогрессивного налогообложения на работающих и распределения социальных трансфертов между неработающими группами и слоями населения. Инструменты перераспределения доходов включают: прогрессивный налог с физических лиц; регулирование заработной платы; реализацию государственной социальной политики – программ помощи и социального обеспечения; обеспечение пособиями по безработице; системы медицинского обслуживания населения, образования и культуры.

В современных условиях низкий уровень оплаты труда в России выступает мощным тормозом развития человеческого капитала, что, в свою очередь, не создает условий для перехода к экономическому росту, активизации процессов саморазвития работников. Сегодня минимальная заработная плата в России не только не может обеспечить простое воспроизводство работника и его семьи, но и не создает социально-экономических условий для биологического выживания последних. В современных условиях нормирование минимального размера оплаты труда утратило свой социально-экономический смысл. На протяжении последних лет блокируется возможность восстановления воспроизводственной функции заработной платы.

Для комплексного преодоления негативной тенденции по ухудшению объективных экономических условий развития человеческого капитала в России требуется выработка государственной программы повышения уровня и качества жизни. Постепенное улучшение данных показателей не только снимет социальное напряжение в обществе, но и создаст социально-экономические предпосылки реализации динамичного развития человеческого капитала.

Необходимо преодолеть действующий и сегодня остаточный принцип финансирования социально-экономической поддержки населения, а также увязки уровня социальной поддержки с дополнительными возможностями госбюджета. Последнее приводит к тому, что размеры многих социальных пособий не обеспечивают прожиточный минимум населения, а значит, они в настоящее время не обеспечивают условия восстановления биологической и интеллектуальной человеческой основы национального богатства России. В настоящее время ежемесячное пособие на ребенка не соответствует прожиточному минимуму. Понятие же минимальной заработной платы в России в настоящее время потеряло всякий социально-экономический смысл, так как оно совершенно не связывается с уровнем прожиточного минимума и со стоимостными особенностями потребительской корзины населения тех или других регионов страны.

В идеале необходимо подчинить все действия правительства конечному социальному результату, в связи с чем в стране необходимо создание государственного научно-экспертного совета по оценке тех или иных политических решений, их влияния на показатели социального развития общества, уровня формирования человеческого капитала. Данный постоянно действующий научный экспертный совет призван не только давать социальную оценку тех или иных решений правительства на федеральном или региональном уровнях, он призван консультативно обеспечивать создание условий оптимального самопроизводства

человеческого капитала на различных уровнях развития общества, устранять принятие решений, которые имеют социально негативные последствия, корректировать принимаемые решения согласно общей стратегической общественной задаче – обеспечению оптимальных условий социального развития населения страны.

Практическое решение данной задачи возможно через реализацию режима строгого контроля за расходованием бюджетных средств на несоциальные цели, усиление таможенного и акцизного контроля, борьбы с хищением государственных ресурсов, поиском дополнительных источников решения социальных проблем через оптимизацию налоговой политики, а также создание условий, при которых работоспособные члены общества имели бы возможность реализовывать свой человеческий капитал для расширенного самовоспроизводства своей биологической и интеллектуальной основы. При этом необходимо сохранить поддержку семей с детьми, семей с нетрудоспособными родителями (во временной или постоянной форме), что предусматривает сохранение и развитие системы детских пособий и пособий по нетрудоспособности, бесплатных социальных гарантий гражданам в сфере образования, здравоохранения, оздоровительного отдыха.

Приостановка инфляции за счет снижения доходов и пособий семьи приводит к дальнейшему спаду производства за счет денационализации человеческого капитала, как результат ветшающего биологического, интеллектуального и образовательного потенциала общества. Если учесть, что истинный рост инфляции заключается именно в спаде производства, то можно понять, что инвестиционные потоки в производство человеческого капитала представляют собой не фактор роста инфляции, а фактор ее торможения. Ведь развитие человеческого капитала способствует не только росту рождаемости и продолжительности жизни носителя человеческого капитала, но и саморазвитию потребностей и способностей населения к труду. Именно последние являются важнейшим фактором развития семейного предпринимательства граждан России, включающего в себя структуры материального и духовного производства, рост результативности которых способен объективно сдерживать и сокращать инфляцию в обществе, вовлекать в производственную среду семейные сбережения граждан, направлять их на благо роста реального сектора экономики страны.

В современных условиях важна разработка специальной социально-экономической программы ликвидации бедности в обществе, сокращения разрыва в возможности доступа к получению услуг в сфере образовательных институтов малообеспеченных слоев населения и членов общества, относящихся к стратам «богатые», «состоятельные», «новые средние». В современных условиях стратегическая программа развития страны должна вмещать в себя важнейший раздел социально-экономической политики, направленный на повышение уровня жизни населения, обеспечение доступа населения к образовательным услугам. Основа первоочередных мер правительства в области социально-экономической политики должна связываться с повышением доходов населения страны путем увеличения зарплаты, пенсий, дополнительных денежных выплат. В современных условиях минимальная заработная плата должна быть (по крайней мере) равной прожиточному минимуму. При этом прожиточный минимум должен включать в себя весь спектр расходов потребителя, в том числе и в области оздоровления и образования. В него необходимо включать не только расходы на питание, одежду, предметы длительного пользования, но и затраты на налоги, платежи по обязательному страхованию, коммунальные платежи, оплату жилья, затраты, связанные с образовательным развитием и спортивным оздоровлением населения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Климантов Г.И. Политика доходов и уровень жизни населения России в 1990-е годы / Г.И. Климантов, Н.М. Мухетдинов // Российский экономический журнал. 2000. № 7. С. 7-12.
2. Thurow L. Investment in Human Capital / L. Thurow. Belmont, 1970. 220 p.

3. Бобков В. О программе повышения уровня и качества жизни / В. Бобков // Проблемы теории и практики управления. 1999. № 6. С. 92-93.
4. Левашов В.И. Социальная политика доходов и заработной платы / В.И. Левашов. М.: Прогресс, 2000. 408 с.
5. Разумов А.А. Анализ ситуации с бедностью в России. Аналитический доклад / А.А. Разумов. М.: Наука, 2000. 276 с.
6. Бедность в России. Государственная политика и реакция населения / под ред. Дж. Кругман. Вашингтон: Всемирный банк, 2002. 480 с.
7. Ронге Ф. Условия жизни в России / Ф. Ронге // Социологические исследования. 2000. № 3. С. 68-69.
8. Бедность в России: ученые надеются, что власть их услышит // Человек и труд. 2004. № 12. С. 19-20.

**Быченко Юрий Григорьевич** –

доктор социологических наук, профессор кафедры «Экономическая социология» Саратовского государственного социально-экономического университета

**Горбунова Наталия Васильевна** –

кандидат педагогических наук,  
старший научный сотрудник кафедры «Экономическая социология»  
Саратовского государственного социально-экономического университета

УДК 78.01

**Г.Ю. Демченко**

**В ДИАЛОГЕ С МИКРОКОСМОСОМ РОМАНТИЗМА**

*Рассматривается один из способов поддержания в человеке подлинно прекрасного (становящегося чуждым в наш век урбанизации) в опоре на творчество композиторов-романтиков – Шуберта, Мендельсона, Шумана, Листа, Шопена.*

**G.Yu. Demchenko**

**IN DIALOG WITH THE MICRO-SPACE OF ROMANTIZM**

*This article describes one of the ways to support in a human a truly touch of a beauty (which becomes an alien feature in the circumstances of the age of urbanization) are the creations of the composers-romantics as Schubert, Mendelssohn, Shuman, List, Chopin.*

Жизнь планеты всё более и более набирает скорость, и всё более осязаемым становится метафорическое понятие «космических скоростей». Это прежде всего означает активизацию разного рода урбанистических, техногенных факторов, воздействующих на формирова-

ние человеческого бытия. Неизбежным следствием подобных процессов становится нарастающее отчуждение от привычных проявлений эмоциональной жизни, отчуждение от той благотворной ауры прекрасного и одухотворённого в человеческих чувствах, которая складывалась на протяжении многих столетий. Кроме того, постоянно наблюдается тенденция к нивелированию и унификации как ещё одна неизбежная дань индустриальному и постиндустриальному обществу, а также «обществу потребления» и всевозможным ликам «информационного общества». А если взять современную Россию, то на нынешнем витке её существования, с вступлением в фазу капитализации, особые масштабы приобрело распространение всякого рода «инъекций» прагматики вкупе с очередным витком «падения нравов».

Один из способов поддержания в человеке «истинно человеческого» видится в напоминании посредством искусства о том драгоценном в человеческой природе, что мы не имеем права утратить, несмотря ни на какие «цунами» высоких технологий, информатизации, прагматизации и прочее. В этом отношении нашим незаменимым союзником в современном образовательном и просветительском процессе может послужить художественное наследие эпохи романтизма и, как кажется, в особенности – музыка первой половины XIX века.

В огромном массиве созданных тогда произведений наиболее предпочтительным представляется обращение к жанру фортепианной пьесы. Дело в том, что всё самое характерное и примечательное для романтического мироощущения сосредоточилось главным образом в малых формах. Здесь композиторы того времени чувствовали себя значительно свободнее, чем в крупных опусах, где они зачастую так или иначе оказывались под влиянием большой традиции предшествующей эпохи, представленной в первую очередь именами Гайдна, Моцарта, Бетховена.

Малые формы той поры – это прежде всего произведения для фортепиано и для голоса с фортепиано. Но если в вокальных сочинениях «соучастником» создания художественного образа неизбежно становится слово, принадлежащее другому автору и другому виду искусства, то в фортепианной пьесе композитор «единоличен» и выражает суть замысла в «чистых формах» звуковой материи, а искусство звука, как известно, способно на самые высокие и многозначные художественные обобщения. Кроме того, небольшой масштаб таких произведений способствует мгновенному охвату целого, что облегчает их восприятие. Но в сумме своей эти «мгновения» и «мимолётности» составляют огромный микрокосмос всего, чем был богат человеческий дух того давнего времени.

Чем же поучительны и драгоценны для человека начала III тысячелетия те мириады бликов художественного вдохновения, которые возникли почти две сотни лет назад и которые мы соотносим с представлениями о романтизме, а соответственно – о романтике, поэтичности, возвышенности и одухотворённости проявлений человеческой природы? Когда звучат подобные определения, в памяти сразу же возникают имена Шуберта, Мендельсона, Шумана, Листа, Шопена – именно они создали в жанре фортепианной пьесы основные, очень разные, но в равной мере драгоценные эталоны романтического жизненного чувства, переданного в музыкальных образах.

Каждый из названных композиторов внёс свои неповторимые краски и штрихи в общую палитру романтического искусства. Франц Шуберт пленяет свежестью и непосредственностью эмоций, что порой парадоксально соседствует с глубинами трагических прозрений. Феликс Мендельсон-Бартольди подкупает искренностью высказывания и обаянием нежного лиризма. Роберт Шуман способен дать сильнейшие импульсы остротой неожиданных переключений от бурного порыва к сокровенной мечтательности. Ференц Лист часто поражает грандиозностью борений и могучих взлётов человеческого духа. Фридерик Шопен при всём многообразии запечатлённых им настроений и состояний, может быть, более всего притягателен утончённым аристократизмом.

При всей индивидуальной неповторимости созданного этими композиторами, их роднит высокий строй мыслей и чувств, а также непреходящая ценность принадлежащих

им творений. Это даёт возможность с неизменным этико-эстетическим эффектом вести разговор о подлинно прекрасном в жизни и на уроке музыки в школе, и на лекции в вузе, и в общедоступной беседе просветительского плана, предназначенной для любой аудитории ценителей искусства.

**Демченко Галина Юрьевна** –  
преподаватель-методист  
Саратовского областного училища искусств

УДК 364.652:331.56

**И.Л. Кром**

### **ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЗАНЯТОСТИ ИНВАЛИДОВ ТРУДОСПОСОБНОГО ВОЗРАСТА В РОССИЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ**

*С 2004 г. в проводимой в России патерналистской политике в отношении инвалидов отмечены элементы инновационного подхода: значительно расширены показания к определению трудовых рекомендаций при установлении инвалидности. Однако для большинства инвалидов, которые могли бы работать, возможность трудоустройства лишь декларируется. Данное исследование посвящено анализу причин безработицы инвалидов вследствие болезней системы кровообращения в Саратовской области.*

**I.L. Krom**

### **PROBLEMS OF FORMATION OF INVALIDS` PROFESSIONAL OCCUPATION AT THE GIVING AGE IN RUSSIAN PROVINCE**

*Since 2004 in paternalist social policy, carrying out in Russia regarding to invalids, the elements of innovation approach have been marked: statements for determination of working recommendations at invalidity ascertainment were greatly widened. But for the majority of invalids who could work the possibility to get professional occupation is just proclaimed. This investigation is devoted to the analysis of invalids` unemployment reasons, as a result of diseases of circulatory system in Saratov region.*

Федеральными законами «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» и «О занятости населения в Российской Федерации» определено право инвалидов на трудовую деятельность, способность к которой предполагает осуществление трудовой деятельности в соответствии с требованиями к содержанию, объему, качеству и условиям выполнения работы и устанавливается при проведении медико-социальной экспертизы [1].

Способность к трудовой деятельности включает:

– способность человека к воспроизведению специальных профессиональных знаний, умений и навыков в виде продуктивного и эффективного труда;

– способность человека осуществлять трудовую деятельность на рабочем месте, не требующем изменений санитарно-гигиенических условий труда, дополнительных мер по организации труда, специального оборудования и оснащения, сменности, типов, объема и тяжести работы;

– способность человека взаимодействовать с другими людьми в социально-трудовых отношениях;

– способность к мотивации труда;

– способность соблюдать рабочий график;

– способность к организации рабочего дня (организации трудового процесса во временной последовательности).

С 2004 г. в проводимой в России патерналистской социальной политике в отношении инвалидов отмечены элементы инновационного подхода: значительно расширены показания к определению трудовых рекомендаций при установлении инвалидности. Количество инвалидов, которые могли бы работать, увеличилось многократно. Однако для большинства из них возможность трудоустройства лишь декларируется.

В настоящее время в экономически развитых странах реализуется понятие *workfare*-система социального обеспечения посредством занятости, которая признается одним из главных направлений социальной политики государства.

По мнению Е.В. Белозеровой, изучавшей проблему занятости инвалидов в современном российском обществе, в настоящее время отсутствует комплексная программа действий по обеспечению занятости инвалидов. Законодательство, регулирующее занятость и социальное обеспечение инвалидов, ориентирует выбор в пользу занятости посредством увеличения нормативного трудового стажа и низких размеров пенсий по инвалидности, и в то же время содержит элементы, снижающие конкурентоспособность инвалидов на рынке труда. Государство делегирует значительную часть ответственности за решение проблем занятости инвалидов работодателям, одновременно ограничивая объемы финансовой и налоговой поддержки на осуществление данной деятельности, и таким образом, незаинтересованность работодателей в приеме на работу инвалидов во многом является следствием издержек регулирующего эти вопросы законодательства [2].

Данное исследование посвящено анализу причин безработицы инвалидов вследствие болезней системы кровообращения, занимающих первое ранговое место в структуре инвалидности трудоспособного населения в Саратовской области. Исследования, которые с 1999 г. проводятся в Государственной службе Медико-социальной экспертизы совместно с кафедрой госпитальной терапии лечебного факультета (проф. А.П. Ребров) и кафедрой нервных болезней (проф. Л.Я. Лившиц) Саратовского государственного медицинского университета, позволили определить социальные характеристики когорты данной категории инвалидов. Выборочная совокупность составила 1,5 тыс. единиц, что обеспечило ее репрезентативность. По нашим данным, 98% инвалидов трудоспособного возраста, страдающих болезнями системы кровообращения, относятся к «базовому» и «нижнему» слоям (классификация Т.И. Заславской) [3]. Большинство из них живут за чертой бедности. Высшее образование – у 19% инвалидов, 81% респондентов, имеющих среднее и неполное среднее образование, обладают наименьшим профессиональным и квалификационным трудовым потенциалом. Инвалиды с низким уровнем образования, как правило, склонны преувеличивать значимость болезни, имеют более выраженные психологические проблемы и реже, чем инвалиды, имеющие высшее образование, возвращаются к труду [4]. Для большинства респондентов, занятых физическим трудом, возникновение ограничений жизнедеятельности, связанных с болезнями системы кровообращения, предполагает потерю профессии, безработицу, отсутствие многовариантности профессионального выбора.

Одной из причин длительной безработицы инвалидов, страдающих болезнями системы кровообращения, является нестабильность соматического состояния, прогрессирующее основ-

ного заболевания и возникновение осложнений – соматических предикторов клинического прогноза у данной категории больных. Низкая базовая мотивация к труду может быть связана и с тем обстоятельством, что в 56% случаев трудовые рекомендации были определены инвалидам, длительно не работающим, находящимся на инвалидности 2 года и более (до 8 лет), большинство из них при проведении медико-социальной экспертизы высказали нежелание работать.

Безработные инвалиды, как правило, охотно обращались в Государственную службу занятости. Демонстрируя низкую мотивацию к труду, они предполагали в основном не трудоустройство, а получение пособия по безработице.

Как известно, трудовые рекомендации инвалидам устанавливаются при проведении медико-социальной экспертизы в соответствии с определяемой группой инвалидности. Неблагоприятные тенденции, отмеченные в функционировании Медико-социальной экспертизы, связанные с необъективной экспертной оценкой (недооценкой) тяжести состояния инвалидов, несоответствие группы инвалидности соматическим и психосоциальным ресурсам, имеющимся у инвалидов, являются одной из причин их нерационального трудоустройства, либо отказа от трудоустройства, снижают эффективность возрастной социализации, медико-социальной реабилитации и качества жизни инвалидов.

При трудоустройстве инвалидов, наряду с психоматематическими барьерами, связанными с основным заболеванием, возникают социальные: низкая оплата труда, отсутствие шансов равного доступа к престижным и высокооплачиваемым рабочим местам, сокращение рабочих мест для инвалидов, безработица.

Федеральным законом от 22 августа 2004 года (№ 122-ФЗ) внесены изменения в Федеральный закон «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации», устанавливающий квоты рабочих мест для инвалидов. Организациям, численность которых составляет более 100 человек (в старой редакции Закона – 30 человек), устанавливается квота для приема на работу инвалидов. Квота устанавливается в процентах к среднесписочной численности работающих в организации (не менее 2 и не более 4%). В связи с принятием данного Закона отменены «Закон о квотировании рабочих мест для инвалидов Саратовской области» [5] и постановление Правительства области, устанавливающие порядок квотирования рабочих мест для инвалидов. Новый вариант Федерального закона о квотировании не определяет санкций в отношении организаций в случае невыполнения установленной квоты для приема на работу инвалидов. Большинство рабочих мест, предлагаемых инвалидам по квотам, являются низкооплачиваемыми, не обеспечивающими прожиточный минимум, а условия труда не соответствуют состоянию здоровья, профессиональной подготовке и образованию инвалидов. Больным, страдающим болезнями системы кровообращения с установленной группой инвалидности, могут отказать в трудоустройстве из-за наличия инвалидности, возраста (старше 40 лет). Неоднократны случаи увольнения часто и длительно болеющих инвалидов. При сокращении производства в первую очередь увольняют больных с установленной группой инвалидности.

Недостаточное предшествующее образование и когнитивные нарушения, выявленные у 95% респондентов [6], значительно усложняют переобучение инвалидов. Проблема профессионального обучения более успешно решается у больных с болезнями системы кровообращения моложе 30 лет.

Инвалидность – сложное социальное явление, зависящее от факторов, определяющих социализацию личности. Инвалидизация больных рассматривается как отклонение от стандартов возрастной социализации из-за нарушений освоения возрастных статусов, в результате возникает смена социальной идентичности, стремление занять предписанный статус инвалида. Инвалидность (неэффективность социализации) формируется при недостаточности у больного соматических, психологических и социальных ресурсов, предоставляемых социумом для эффективной социализации субъекта. Занятость, включение в профессиональную деятельность способствуют экономической независимости, социальной интеграции и эффективной возрастной социализации инвалидов.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 22 августа 2005 г. № 535 «Об утверждении классификаций и критериев, используемых при осуществлении медико-социальной экспертизы граждан федеральными государственными учреждениями медико-социальной экспертизы».
2. Белозерова Е.В. Стратегии занятости инвалидов в современном российском обществе: дис. ... канд. социол. наук / Е.В. Белозерова. Саратов, 2005. С. 2-13.
3. Заславская Т.И. Трансформация социальной структуры российского общества / Т.И. Заславская // Куда идёт Россия?.. Социальная трансформация постсоветского пространства: материалы Междунар. симпозиума. М.: Междунар. акад. центр социал. наук, Моск. высш. шк. социал. и экон. наук, 1996. С. 11-21.
4. His Y.Y. Life quality of postmyocardial infarction patients: influence of personal variables on coping / Y.Y. His, C.Y. Chen, M.B. Lee // Taiman Journal. 1990. Vol. 89. P. 149-155.
5. Закон Саратовской области «О квотировании рабочих мест для инвалидов в Саратовской области» 65-ЗСО от 5.07.2002 г.
6. Кром И.Л. Цереброваскулярная патология у больных ишемической болезнью сердца с установленной группой инвалидности / И.Л. Кром, И.Л. Лившиц, А.П. Ребров // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2002. № 3. С. 18-20.

**Кром Ирина Львовна –**

кандидат медицинских наук,  
докторант кафедры «Социальная антропология и социальная работа»  
Саратовского государственного технического университета

УДК 342

**А.К. Поповская**

**УПОЛНОМОЧЕННЫЙ ПО ПРАВАМ ЧЕЛОВЕКА  
КАК ИНСТИТУТ НЕСУДЕБНОЙ ЗАЩИТЫ ПРАВ ЧЕЛОВЕКА В РОССИИ**

*Во всем мире существуют два основных вида защиты прав и свобод граждан – это судебная и несудебная защита прав и свобод граждан. Одним из таких институтов несудебной защиты граждан является институт Уполномоченного по правам человека. В России должность Уполномоченного по правам человека учреждена Конституцией Российской Федерации в 1993 г. Институт Омбудсмана – это специальный институт, направленный на защиту и восстановление прав человека. Институт Омбудсмана нигде не подменяет, не заменяет и не включается в судебную систему.*

**A.K. Popovskaja**

**THE COMMISSIONER ON HUMAN RIGHTS AS INSTITUTE  
OF NON-JUDICIAL PROTECTION OF HUMAN RIGHTS IN RUSSIA**

*There are two basic kinds of protection of the rights and freedom of citizens all over the world. They are a judicial and non-judicial protection of the rights*

*and freedom of citizens. One of the institutes of non-judicial protection of citizens is the institute of the Commissioner on human rights. In Russia the post of the Commissioner on human rights was founded according the Constitution of the Russian Federation in 1993. The Institute of Ombudsman is a special institute directed on protection and restoration of human rights. It is important to emphasize, that the institute of Ombudsman does not substitute, does not replace and does not join in the judiciary anywhere.*

На сегодняшний день одной из самых приоритетных задач всего мирового сообщества является надлежащее обеспечение и защита прав человека в качестве высшей социальной ценности от всяких нарушений. Признание естественной природы и неотъемлемого характера основных прав и свобод человека ни в какой мере не снижает значимости государства в охране и защите как основных, так и других общепризнанных прав и свобод человека, в создании системы их юридических и иных гарантий. Гарантированность государственной защиты прав и свобод человека и гражданина непосредственно связана с обязанностью государства признавать, соблюдать и защищать права и свободы человека и гражданина [1].

Государственная защита прав человека и гражданина не исключает и самостоятельных активных действий каждого по их защите всеми способами, не запрещенными законом. Это расширяет возможности человека и гражданина, которые могут проявлять инициативу, расширять способы отстаивания своих прав.

Защита прав и свобод личности представляет собой деятельность уполномоченных лиц по применению способов или мер, направленных на восстановление нарушенного права, наказание нарушителя и предупреждение нарушений права.

Во всем мире, да и в нашей стране существуют два основных вида защиты прав и свобод граждан – это судебная и несудебная защита прав и свобод граждан. В судебном порядке защиту нарушенных прав осуществляют все виды судебных органов: суды общей юрисдикции, мировые судьи, арбитражные суды, третейские суды, военные суды, конституционные (уставные) суды в соответствии с подведомственностью дел, установленной законодательством, а также обязанность рассматривать жалобы граждан возложена на все без исключения судебные инстанции (первую, кассационную, апелляционную, надзорную).

Задачи правосудия – защитить нарушенное право. Наличие нарушенного права и необходимость его защиты могут быть выяснены лишь в результате судебного разбирательства. Судебная власть, как власть государственная, должна стать сильной и самостоятельной для того, чтобы служить своему народу [2]. При несудебном порядке защита прав осуществляется путем обращения в органы государственной власти и местного самоуправления, в прокуратуру, к Уполномоченному по правам человека, в общественные объединения, в средства массовой информации, в международные органы. Институты несудебной защиты прав и свобод человека и гражданина призваны дополнить существующий судебный механизм и способствовать комплексному решению данной проблемы.

Одним из институтов несудебной защиты граждан является институт Уполномоченного по правам человека. Он функционирует во многих странах Европы, Америки, Азии, Африки, Океании. В частности, данная должность есть в таких государствах, как США, Канада, Великобритания, Франция, Португалия, Швейцария, Испания, Бельгия, Дания, Италия, Австралия, Гайана, Маврикий, острова Фиджи, Новая Зеландия, Польша. Называется этот институт по-разному, но, по сути, выражает одно – защиту прав человека в государстве. В Швеции и Дании Уполномоченного по правам человека называют Омбудсменом. В других странах – парламентским комиссаром или общественным прокуратором, медиатором (посредником), народным защитником, Уполномоченным Парламента.

Институт Омбудсмена вписывается в любую правовую систему, занимая при этом совершенно обособленное положение. Это специальный институт, направленный на защиту и

восстановление прав человека. Очень важно сразу подчеркнуть, что институт Омбудсмена нигде не подменяет, не заменяет и не включается в судебную систему, в связи с чем он успешно развивается и функционирует в странах со стабильными и высоко развитыми традициями судебной защиты прав человека. Но все же есть исключения – это Финляндия, где омбудсмен может вторгаться и в сферу деятельности суда.

Во Всемирной энциклопедии содержится следующее определение омбудсмена: «Это независимое публичное должностное лицо, которое рассматривает жалобы граждан на должностных лиц правительственных органов. Значительную часть его работы занимают жалобы на несправедливость или грубое отношение и обращение должностных лиц полиции, прокуроров или судей в таких делах как жилищные, о взимании налогов, об участии в выборах, о взимании благотворительных пособий.

После расследования жалобы омбудсмен может отклонить её с обоснованием своих действий. Либо он может искать способы исправления ситуации путем убеждения, предания дела гласности или, что редко, предложения рекомендации о привлечении к ответственности».

Энциклопедический словарь «Конституция Российской Федерации» дает очень краткую дефиницию: «Омбудсмен – лицо, уполномоченное парламентом осуществлять контроль за соблюдением законных прав и интересов граждан в деятельности органов исполнительной власти и должностных лиц» [3].

Правовой институт Уполномоченного по правам человека (омбудсмена) принадлежит в равной степени государству и гражданскому обществу, он является связующим звеном, восстанавливает баланс «сил» государства и общества в области защиты гражданских прав и свобод. Он оказывает помощь гражданам, побуждая различные институты государства выполнять обязанности в отношении членов гражданского общества. Роль омбудсмена во многом зависит от характера политического режима. В странах с развитой демократией омбудсмен преимущественно занимается осуществлением контрольных функций над деятельностью органов государственной власти. В тех же странах, где демократия пребывает в нестабильном состоянии и механизм разделения властей недостаточно эффективен, омбудсмен делает акцент в своей деятельности на более абстрактную задачу – необходимость развития и защиты основных прав и свобод.

В России должность Уполномоченного учреждена Конституцией Российской Федерации 1993 года. В пункте «д» части 1 статьи 103 Конституция относит к ведению Государственной Думы назначение и освобождение Уполномоченного, действующего в соответствии с Федеральным конституционным законом. Закон «Об Уполномоченном по правам человека в Российской Федерации» 1997 года [4] определил порядок назначения на должность и освобождения от должности Уполномоченного, его компетенцию, организационные формы и условия его деятельности и хотя Уполномоченный по правам человека в Российской Федерации назначается на должность и освобождается от должности Государственной Думой, в то же время установлено, что при осуществлении своих полномочий он независим и неподотчетен каким-либо государственным органам и должностным лицам (п.1 ст.2).

Должность Уполномоченного по правам человека в Российской Федерации учреждена в целях обеспечения гарантий государственной защиты прав и свобод граждан, их соблюдения и уважения органами государственной власти, местного самоуправления и их должностными лицами. Его деятельность должна способствовать решению проблем в сфере защиты прав человека и таким образом содействовать более полной реализации прав граждан.

Основными направлениями деятельности Уполномоченного по правам человека в Российской Федерации являются:

– рассмотрение жалоб и обращений о нарушениях прав и свобод человека и гражданина, принятие мер по их восстановлению. Эта форма деятельности является одной из главных, при этом жалобы он принимает как на личном приеме, так и поступившие по почте;

– анализ законодательства в области защиты прав и свобод человека и гражданина, подготовка рекомендаций по его совершенствованию и приведению в соответствие с общепризнанными принципами и нормами международного права;

– развитие международного сотрудничества в области прав человека;

– правовое просвещение по вопросам прав и свобод человека, посредством участия в научных проектах, через учебные и просветительские учреждения (школы, вузы), средства массовой информации, путем распространения Бюллетеня аппарата Уполномоченного по правам человека;

– подготовка ежегодного доклада о своей деятельности и направление его Президенту РФ, в Совет Федерации РФ, в Государственную Думу РФ, Правительство РФ, Конституционный Суд РФ, Верховный Суд РФ, Генеральному прокурору РФ;

– направление в Государственную Думу специальных докладов по отдельным вопросам соблюдения прав и свобод граждан;

– анализ правоприменительной практики в области прав человека и гражданина и выработка предложений по её усовершенствованию;

– информирование органов государственной власти и общественности о положении дел с соблюдением прав и свобод граждан в Российской Федерации.

По смыслу федерального закона Уполномоченный по правам человека должен способствовать:

1) восстановлению нарушенных прав человека и гражданина;

2) совершенствованию законодательства Российской Федерации о правах человека и гражданина и приведению его в соответствие с общепризнанными принципами и нормами международного права;

3) правовому просвещению по вопросам прав и свобод человека, форм и методов их защиты.

Повышению правового уровня населения способствуют ежегодные и специальные доклады, в которых раскрывается как состояние с соблюдением прав человека в России, так и конкретные рекомендации по их правовой защите. Например, были подготовлены следующие специальные доклады:

- соблюдение прав граждан, страдающих психическими расстройствами;

- нарушения уставных правил взаимоотношений между военнослужащими при отсутствии между ними отношений подчиненности;

- соблюдение прав граждан на свободу передвижения, свободный выбор места пребывания и жительства в Российской Федерации;

- нарушения прав граждан сотрудниками Министерства внутренних дел Российской Федерации и уголовно-исполнительной системы Министерства юстиции Российской Федерации;

- права и возможности инвалидов в Российской Федерации;

- выполнение Россией международных обязательств, принятых при вступлении в Совет Европы;

- экология и нарушения прав человека;

- защита прав жертв террористических актов и иных преступлений.

Вместе с тем практика деятельности Уполномоченного выявила ряд проблем, связанных с несовершенством действующего законодательства и необходимостью развития законодательной базы самого института Уполномоченного.

Это отсутствие у Уполномоченного права законодательной инициативы, а также ограниченность возможности для обращения в Конституционный Суд Российской Федерации (в том числе по вопросам толкования действующего законодательства и международных договоров).

Показательным примером оказания юридической помощи путем подачи жалобы в Конституционный Суд РФ является рассмотрение конституционности статьи 45 УПК РФ. Согласно ст. 45 Кодекса, представителями потерпевших или гражданских истцов могут быть только адвокаты, что нарушает принцип состязательности процесса и равенства прав участников. Многие потерпевшие нуждаются в профессиональной защите своих интересов в суде. В связи с этим Уполномоченный в ноябре 2003 г. обратился в Конституционный Суд Российской Федерации с жалобой на нарушение конституционных прав и свобод человека и гражданина законом, примененным в уголовном деле по факту гибели военнослужащего С., в отношении его матери, признанной потерпевшей, которой следователь военной прокуратуры и мировой судья 251 судебного участка Ступинского судебного района Московской области отказали в допуске в качестве ее представителей профессиональных юристов из Межрегионального общественного благотворительного фонда «Право матери». Усматривая нарушение ч.1 ст.45 Уголовно-процессуального кодекса Российской Федерации права потерпевшего на доступ к правосудию путем свободного получения бесплатной юридической помощи профессионального юриста общественного объединения, Уполномоченный поставил вопрос о признании положения о предоставлении права на участие в качестве представителя потерпевшего только адвокату не соответствующим Конституции Российской Федерации.

Определением Конституционного Суда Российской Федерации от 5 декабря 2003 г. № 447-О признано, что ч.1 ст. 45 УПК РФ по ее конституционно-правовому смыслу не исключает, что представителями потерпевшего и гражданского истца в уголовном процессе могут быть иные – помимо адвокатов – лица, в том числе близкие родственники, о допуске которых ходатайствует потерпевший или гражданский истец.

В тех случаях, когда жалоба заявителя передается Уполномоченным государственному органу, органу местного самоуправления или должностному лицу для рассмотрения, также дается юридическая оценка имевшего место нарушения прав человека. Это позволяет добиться восстановления нарушенных прав и свобод гражданина, не прибегая к затратным юридическим процедурам.

Кроме того, на практике не реализуются положения статьи 36 Федерального конституционного закона, предусматривающие ответственность должностных лиц за неисполнение обязанностей, им установленных. Между тем подобная регламентация, вплоть до вынесения административного наказания, имеется в законодательствах целого ряда государств.

Не установлены также рамки взаимодействия федерального и региональных уполномоченных [5].

По мнению Н.Ю. Хаманевой, комплексный подход к решению проблемы, касающейся формирования нормативной правовой базы института Уполномоченного позволит ликвидировать еще существующие пробелы в сфере функционирования механизмов защиты прав и свобод человека и гражданина, а также окажет положительное влияние на стимулирование позитивной деятельности государственной администрации [6].

В России практически достигнуто понимание того, что человек, его права и свободы являются высшей ценностью. Однако одного понимания явно не достаточно. Нужно их уважать, соблюдать, защищать, а также восстанавливать нарушенные права и свободы. Именно в этом направлении развивается и совершенствуется деятельность Уполномоченного по правам человека.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Конституция Российской Федерации. Научно-практический комментарий / под ред. Б.Н. Топорнина. М.: Юрист, 1997. 62 с.
2. Защита прав человека в Поволжском регионе. СПб. – Саратов: Норма, 2001. 136 с.
3. Конституция Российской Федерации // Энциклопедический словарь / Рук. автор. колл. С.М. Шахрай. М., 1995. С. 141-142.

4. ФКЗ от 26.02.97 № 1-ФКЗ «Об уполномоченном по правам человека в Российской Федерации» // СЗ РФ. 1997. № 9. Ст. 1011.

5. Что для гражданина право, то для чиновника долг: доклад Уполномоченного по правам человека в Российской Федерации за 2004 год // Российская газета. 2005. 31 марта.

6. Хаманева Н.Ю. Правовой институт уполномоченного по правам человека / Н.Ю. Хаманева // Гражданин и право. 2000. № 6. С. 24-29.

**Поповская Алёна Казимировна –**

ассистент кафедры «Менеджмент, маркетинг и логистика»  
Института бизнеса и делового администрирования  
Саратовского государственного технического университета,  
соискатель кафедры «Конституционное право»  
Поволжской академии государственной службы им. П.А. Столыпина

**ЮРИЙ ВИКТОРОВИЧ ЧЕБОТАРЕВСКИЙ****К 60-летию со дня рождения**

Юрий Викторович Чеботаревский родился 14 августа 1946 года. В 1964 году окончил Саратовский авиационный техникум, в 1969 – Саратовский политехнический институт, в 1973 – аспирантуру.

С 1969 года его научная, инженерная и педагогическая деятельность неразрывно связана с техническим университетом, где он занимал должности инженера, ассистента, старшего преподавателя, доцента, профессора, заведующего кафедрой теоретической механики. В 1973 году защитил кандидатскую диссертацию. В 1986 году – докторскую. С 1989 года – первый проректор университета, с 1998 года – ректор СГТУ. В 1996 году присвоено звание «Почетный работник высшего профессионального образования РФ».

Область научных интересов: теплофизика, механика и термомеханика композиций из современных конструкционных материалов при нетрадиционных воздействиях, лазерная технология, механика твёрдого тела, информационные системы в структуре управления высшими учебными заведениями.

Ю.В. Чеботаревский имеет более 130 публикаций. Им доказана возможность возникновения резонанса в активных элементах твёрдотельных оптических квантовых генераторов с импульсной накачкой, впервые построена расчетная математическая модель, описывающая закономерности появления пластических деформаций в хрупких диэлектриках при высокотемпературном нагреве, развито начало возможных изменений напряженного состояния решения пространственных термоупругопластических задач о локальном нагреве тел из хрупких диэлектриков, в том числе лазерным излучением. Под его непосредственным руководством сформулирована теплофизическая модель лазерной пайки с управляемым тепловложением, позволяющая оптимизировать параметры ряда вакуумных СВЧ-приборов.

Полученные им теоретические результаты легли в основу разработанных и реализованных на ряде предприятий электронной промышленности технологических процессов лазерной прошивки отверстий с одновременной металлизацией, скрайбирования корундовой керамики и кремниевых подложек, лазерной функциональной подгонки и юстировки, локального лазерного пиролиза и управляемого термораскалывания кольцевых магнитов из редкоземельных элементов. Под его руководством защищены 2 докторские и 8 кандидатских диссертаций.

За создание конструктивно-технологической и функциональной базы нового поколения СВЧ-приборов специального назначения в 1991 году Ю.В. Чеботаревскому присуждена Государственная премия СССР.

Юрий Викторович – Лауреат премии Президента РФ в области образования за 2003 год, награжден орденом Дружбы (2005) и тремя медалями.

Ю.В. Чеботаревский – председатель докторского диссертационного совета по приборостроению, автоматике и автоматическому управлению, председатель диссертационного



совета по защите докторских диссертаций по механике, главный редактор рецензируемого научно-технического журнала «Вестник СГТУ», избран действительным членом ряда российских и зарубежных академий наук.

Ю.В. Чеботаревский является членом Правления Российского Союза ректоров, экономического совета Федерального агентства по образованию РФ, попечительского совета Фонда поддержки и развития образования РФ, аккредитационной коллегии Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки РФ.

На выборах Президента Российской Федерации в 2004 году был доверенным лицом кандидата в Президенты РФ В.В. Путина, за что был отмечен Благодарственным письмом Президента РФ.

Коллектив кафедры теоретической механики поздравляет Ю.В. Чеботаревского с юбилеем, желает крепкого здоровья, творческих успехов, безграничного счастья, добра, удачи.

Пусть всегда с Вами, Юрий Викторович, будут надежные партнеры, талантливые и благодарные ученики.



## НИКОЛАЙ МИХАЙЛОВИЧ СОВЕТОВ

### К 80-летию со дня рождения

6 августа 2006 года исполнилось 80 лет профессору, доктору технических наук Николаю Михайловичу Советову, основателю и первому заведующему кафедрой электроники (ныне электронных приборов и устройств), создателю и научному руководителю отраслевой научно-исследовательской лаборатории электронной техники (ЛЭТ), известному в России и за ее пределами ученому, педагогу и писателю.

Николай Михайлович – коренной саратовец, здесь он родился и провел детские годы. Во время войны, которую он встретил пятнадцатилетним подростком, по вечерам учился в техникуме, а днем работал на авиационном заводе, заводе «Серп и Молот». Работа учащегося Н. Советова была отмечена медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.».

В 1944 году Н.М. Советов сдал экстерном экзамены за первый курс и был принят сразу на второй курс радиотехнического факультета Московского авиационного института (МАИ).

После окончания института вернулся в Саратов и поступил в аспирантуру СГУ к профессору В.И. Калинину. В 1952 г. Николай Михайлович стал одним из первых кандидатов физико-математических наук в области электроники сверхвысоких частот, в новом для того времени направлении физики.

Получившего известность молодого ученого приглашают в 1956 г. в г. Таганрог заведовать кафедрой «Радиопередающие и антенно-фидерные устройства» Таганрогского радиотехнического института. Затем два года с 1960 по 1961 он руководит отделом во ВНИИ МРТП, в городе Ростове-на-Дону.

В 1961 г. Николай Михайлович возвращается в родной город и принимает активное участие в создании в политехническом институте приборостроительного факультета (позже ФЭТиП) и в строительстве корпуса факультета. В 1963 г. он организует кафедру электроники, которую возглавляет в течение 30 лет. В том же 1963 г. открывается отраслевая научно-исследовательская лаборатория электронной техники, научным руководителем которой с 1965 г. стал профессор Н. Советов.

Разносторонние способности, яркий, волевой и независимый характер привлекали к нему студенческую молодежь, молодых научных сотрудников и преподавателей. На протяжении многих лет первое знакомство с современной электроникой, ее достижениями и перспективами начинается для первокурсников ЭПУ на лекциях профессора Н.М. Советова. Очевидец и непосредственный участник многих достижений современной радиоэлектроники, он всегда подчеркивает вклад российских и советских ученых и инженеров в ее развитие.



За время работы Н.М. Советова на кафедре 8 человек защитили докторские диссертации. Шестеро из них были аспирантами Н.М. Советова (Б.К. Сивяков, В.А. Царев, В.А. Коломейцев, А.А. Димитрюк, А.А. Захаров, И.И. Лошакова).

Н.М. Советов участвовал в работе многих научных конференций. В соавторстве делал доклады на Международной конференции по лазерной технике (LASE-97, 98, 99) в Калифорнии, США. Награжден знаками «Почетный радист СССР», «Изобретатель СССР». Большая серебряная медаль «За выдающиеся достижения в XX веке в области физики и литературы» присуждена Международным биографическим центром (Кембридж, Англия). Вручен диплом, свидетельствующий о том, что Н.М. Советов внесен в хартию привилегированных личностей XX века. Биографическим центром США удостоен золотой американской «Медали чести» (2003). В справочниках по математике его именем назван класс математических функций («Классификация Советова разностных бесселевых функций»). Имеет звание «Почетный работник высшего профессионального образования РФ».

Им издано пять научных монографий, учебное пособие в издательстве «Высшая школа», написаны более 150 статей, сделаны 23 изобретения, на которые получены авторские свидетельства и патенты.

В свободное время пишет рассказы, повести, романы. Некоторые изданы за рубежом. По одному из рассказов в Чехословакии снят фильм (1984). Уже не одно поколение студентов читает его произведения «Вознося главу» (о М.В. Ломоносове) и «На обратной волне» (об ученых-физиках 50-х годов). Является членом Союза писателей России. К 2000-летию принятия христианства выпущен исторический роман «Заря тысячелетия» (2001). Занимался парусным спортом, был неоднократным чемпионом регат, имеет звание «Мастер спорта СССР».

Поздравляем Николая Михайловича с юбилеем, желаем ему здоровья и дальнейших творческих успехов!

Коллектив кафедры  
«Электронные приборы и устройства»

## **МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ: ЭТАПЫ СТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ**

В 2006 году машиностроительный факультет СГТУ отмечает свое 60-летие.

В тяжелые послевоенные годы, когда разрушенная войной страна ощущала острую потребность в инженерных кадрах машиностроительного профиля, принимается решение о создании в Саратовском автодорожном институте механико-технологического факультета. На момент открытия факультета в 1946 году в его состав входило всего три кафедры: «Технология металлов», «Дорожные и строительные машины» и выпускающая кафедра «Технология машиностроения».

Спустя три года, с целью решения проблемы экономической подготовки производства, на факультете создается кафедра «Экономика и организация производства». В эти годы активизируется научно-исследовательская работа, создаются и оснащаются оборудованием научные и учебные лаборатории, приходят талантливые педагоги и ученые, закладываются фундаментальные основы преподавания технических дисциплин, зарождаются научные школы и направления, которые в последующие годы непрерывного развития превратятся в мощные источники технических идей, способные решить любые проблемы науки и производства.

В 1960 году механико-технологический факультет был преобразован в машиностроительный. В его состав вошли шесть кафедр. Созданы кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» и «Технология электровакуумного машиностроения». Вместо кафедры «Дорожные и строительные машины» организована кафедра «Детали машин».

В 1966 году с созданием кафедры «Автоматизация технологических процессов в машиностроении» на факультете завершается первый этап наиболее значимых структурных преобразований. В таком составе машиностроительный факультет успешно и стабильно работает более 20 лет.

В период становления факультета активно формировался кадровый состав высококвалифицированных педагогов и ученых, заложивших славные традиции преподавания специальных дисциплин и привнесших неповторимый дух энтузиазма и творчества в процесс педагогической работы. Доценты к.т.н. К.П. Севров, Н.А. Шестериков, Я.М. Довгалевский, А.И. Гильман, профессора д.т.н. С.Г. Редько, К.М. Писманик, Г.Г. Иноземцев и другие широко использовали в учебном процессе результаты последних научных достижений, в том числе и собственных исследований, что позволяло студентам глубже усваивать материал и постепенно приобщаться к научной работе, ведущейся в исследовательских лабораториях. Такой подход к преподаванию сохранен на кафедрах факультета и по сегодняшний день.

Неоценимый вклад в создание и развитие факультета внес к.т.н. доцент П.И. Гаврилов, проработавший более 20 лет в должности декана. Под его руководством факультет приобрел тот статус, который и в настоящее время позволяет считать его одним из ведущих структурных подразделений нашего университета.

Один из самых тяжелых периодов в жизни факультета приходится на девяностые годы. В это время страна переживала наиболее болезненный и сложный этап фундаментальных изменений в государственном устройстве, которые повлекли за собой катастрофический спад промышленного производства и снижение потребности в инженерных кадрах. Понимая временность подобной ситуации, коллектив факультета активизировал профориентационную работу в школах и средних учебных заведениях. Возникла необходимость поиска новых нестандартных направлений работы с абитуриентами.

Важное значение приобрел анализ реальной потребности действующего производства в кадрах, а также прогнозирование направлений его дальнейшего развития. В этот период на кафедрах факультета открываются новые специальности и специализации, корректируется тематика научных исследований с целью обеспечения более тесной связи с современными народнохозяйственными проблемами. Эффективно решается проблема подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации. С этой целью на факультете организованы и ак-

тивно работают под председательством профессора А.В. Королева и профессора В.Н. Лясникова два совета по защитах докторских и кандидатских диссертаций.

Решению факультетских проблем по всем направлениям значительное внимание уделяют Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» д.т.н., профессор А.В. Королев, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Электронное машиностроение», д.т.н., профессор Г.В. Конюшков, Заслуженный работник высшего образования РФ, заведующий кафедрой «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» д.т.н., профессор Б.М. Бржозовский, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Материаловедение и высокоэффективные процессы обработки», д.т.н., профессор В.Н. Лясников, заведующий кафедрой «Автоматизация технологических процессов» д.т.н., профессор А.А. Игнатъев, а также профессора кафедры д.т.н. В.Г. Куранов, д.т.н. В.С. Дрогайцев и др.

Своевременно принятые меры позволили несколько смягчить объективные трудности и продолжить развитие факультета. Начиная с 1991 года, открыты такие специальности как «Машины и технологии высокоэффективных процессов обработки», «Биотехнические и медицинские аппараты и системы», «Проектирование технических и технологических комплексов», «Оборудование и технология сварочного производства». В этот период защитили диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук В.С. Дрогайцев, Б.М. Бржозовский, В.Е. Боровских, А.А. Игнатъев, В.В. Мартынов, О.Ю. Давиденко, П.Ю. Бочкарев, Н.В. Бекренев, В.М. Таран, Л.И. Шейко, В.В. Погораздов, С.В. Бобырев, А.В. Кочетков, А.А. Королев, В.А. Колокольцев, М.К. Решетников, И.Н. Янкин, А.Н. Васин.

Сегодня на факультете ведется подготовка специалистов по восьми специальностям: «Машины и технологии высокоэффективных процессов обработки», «Биотехнические и медицинские аппараты и системы», «Электронное машиностроение», «Технология машиностроения», «Проектирование технических и технологических комплексов», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Металлообрабатывающие станки и комплексы», «Оборудование и технология сварочного производства».

В соответствии с международными стандартами факультет готовит бакалавров и магистров по трем направлениям: «Автоматизация и управление», «Технологические машины и оборудование», «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».

Высокий уровень подготовки специалистов обусловлен наличием квалифицированных кадров, а также современного учебно-лабораторного оборудования. На факультете открыты три компьютерных класса, работающих на базе высокоэффективного программного обеспечения, межфакультетская учебно-научная лаборатория материаловедения, оснащенная последними образцами компьютерной техники.

Научно-исследовательская работа сотрудников факультета осуществляется в самых различных направлениях техники и технологий. Весомые результаты достигнуты в области совершенствования конструкций и технологий изготовления деталей опор качения и изделий электронного машиностроения, стоматологической имплантологии, триботехники, мониторинга сложных технических систем, автоматизированных систем контроля и проектирования, изготовления зубчатых зацеплений.

В настоящее время эффективно развиваются научно-производственные связи с ведущими предприятиями г. Саратова: ОАО «Саратовский подшипниковый завод», ОАО «СЭПО», ОАО «ТАНТАЛ», ФГУП «Саратовский агрегатный завод», ОАО «САПКОН-Нефтемаш», ФГУП «Корпус» и др.

Ежегодно более 200 хорошо подготовленных молодых инженеров-машиностроителей приходят из студенческих аудиторий на промышленные предприятия г. Саратова. Им предстоит решать сложные производственные задачи в самых различных отраслях техники. И, я уверен, они с ними справятся, потому что их этому учили замечательные педагоги нашего факультета.

Декан факультета, д.т.н., профессор О.Ю. Давиденко