

**ВЕСТНИК
САРАТОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
2012**

№ 3 (67)

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.

Выходит один раз в квартал

Сентябрь 2012 г.

*Журнал включен в перечень ведущих
рецензируемых журналов и научных изданий,
утвержденный президиумом ВАК
Министерства образования и науки РФ,
в которых публикуются основные научные
результаты диссертаций на соискание
ученых степеней доктора и кандидата наук*

**Главный редактор
Зам. главного редактора
Ответственный секретарь**

д.и.н., профессор И.Р. Плеве
д.т.н., профессор А.А. Сытник
д.ф.-м.н., профессор В.В. Астахов

Редакционный совет: д.т.н. В.И. Волчихин, д.т.н. В.А. Голенков, д.и.н. В.А. Динес,
д.х.н. В. Зеленский (Польша), д.т.н. В.А. Игнатъев, д.т.н. В.В. Калашников, д.т.н. И.А. Новаков,
д.и.н. И.Р. Плеве (председатель), д.т.н. А.Ф. Резчиков, д. социол. н. С.Б. Суоров,
д.т.н. А.А. Сытник (заместитель председателя), д.ф.-м.н. Я. Аврейцевич (Польша),
д.э.н. У. Арнольд (Германия), д.ф.-м.н. Э. 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. В.А. Крысько, д.ф.-м.н. В.В. Астахов,
д.х.н. А.В. Гороховский, д.т.н. В.Н. Лясников, д.ф.-м.н. Л.А. Мельников, д.т.н. Р.З. Аминов,
д.т.н. Ю.Г. Иващенко, д.т.н. А.С. Денисов, д.т.н. А.А. Сытник, д.т.н. А.А. Большаков, д.филос.н.
Д.В. Михель, д.биол.н. Е.И. Тихомирова, д.э.н. А.Н. Плотников, д.и.н. Г.В. Лобачева

Редактор Л.А. Скворцова
Компьютерная верстка Н.В. Лукашовой
Перевод на английский язык А.Х. Аскаровой

Адрес редакции:
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77
Телефон: (845 2) 99-87-39
E-mail: vestnik@sstu.ru
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>
Факс: (845 2) 52-53-02

Подписано в печать 15.09.12
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.
Усл. печ. л. 37,5 Уч.-изд. л. 18,68
Тираж 500 экз. Заказ 181
Отпечатано в Издательстве СГТУ,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Полная электронная версия журнала размещена в системе РИНЦ
в открытом доступе на платформе eLIBRARY.RU

Подписной индекс 18378
(каталог «Газеты. Журналы» на 1-е полугодие 2013 г.)

**VESTNIK
SARATOV
STATE
TECHNICAL
UNIVERSITY
2012**

№ 3 (67)

This journal is included into the list of leading reviewed journals and scientific publications approved by the presidium of Ministry of Education and Sciences of Russian Federation where major scientific thesis's results for academic degree competition for a doctor and a candidate of sciences

Editor-in-chief Professor I.R. Plevе
Editor-in-chief assistant Professor A.A. Sytnik
Executive secretary Professor V.V. Astakhov

Drafting committee: Prof. V.I. Volchihin, Prof. V.A. Golenkov, Prof. V.A. Dines, Prof. V. Zelensky (Poland), Prof. V.A. Ignatyev, Prof. V.V. Kalashnikov, Prof. I.A. Novakov, Prof. I.R. Plevе (Chairman), Prof. A.F. Rezchikov, Prof. A.A. Sytnik (Vice of the Chairman), Prof. S.B. Surovov, Prof. Y. Avreytsevich (Poland), Prof. U. Arnold (Germany), Prof. A. Merser (UK), Prof. E. D'Sousa Ferreira (Portugal), Prof. T. Chermak (Czech Republic), Prof. Y.V. Shlenov

Editorial board: Prof. V.A. Krysko, Prof. V.V. Astakhov, Prof. A.V. Gorokhovski, Prof. V.N. Lyasnikov, Prof. L.A. Melnikov, Prof. R.Z. Aminov, Prof. Y.G. Ivashchenko, Prof. A.S. Denisov, Prof. A.A. Sytnik, Prof. A.A. Bolshakov, Prof. D.V. Mikhel, Prof. Y.I. Tikhomirova, Prof. A.N. Plotnikov, Prof. G.V. Lobacheva

Editor L.A. Skvortsova
Computer-based page-proof N.V. Lukashova
Rendering A.H. Askarova

Editorial office: 77, Politechnicheskaya Street
Saratov, 410054
Russia
Telephone: +8452/99-87-39
E-mail: vestnik@sstu.ru
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>
Fax: +8452/52-53-02

Signed for publishing: 15.09.12
Format 60×84 1/8 Paper offset.
Apr. tp. l. 37,5 Acc.-pbl. l. 18,68
Edition 500 psc. Order 181
Printed in publishing house of SSTU,
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054,
Russia

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

Крысько А.В., Жигалов М.В., Мицкевич С.А., Загниборода Н.А., Добрян В.В., Кутепов И.Е., Крысько В.А. Нелинейная динамика вибрационных микромеханических гироскопов (ММГ). Часть II. Расчет резонатора в виде балки с начальной неправильностью с учетом геометрической нелинейности.....	7
Манжосов В.К., Новикова И.А. Отражение и переход продольной волны деформации линейной формы с убывающей интенсивностью в соединении стержней с упругим элементом	15

ФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Астахов В.В., Балакин М.И. Механизм формирования мультистабильности в генераторе ван дер Поля с запаздывающей обратной связью	24
Бахтеев И.Ш. Увеличение полосы усиливаемых частот комплексированного устройства на синхронизированном магнетроне, работающего в миллиметровом диапазоне	28
Бахтеев И.Ш., Фурсаев М.А. Прогнозирование ширины полосы синхронизации магнетронов миллиметрового диапазона.....	31
Мазеев Е.В., Муллин В.В. Оценка величин тока в вакуумных дугогасительных камерах полюса высоковольтного выключателя.....	34
Муллин В.В., Фурсаев М.А. Оценка скорости перемещения дуги в вакуумных дугогасительных камерах с поперечным магнитным полем.....	37
Пулин В.Ф., Элькин П.М. Моделирование структуры и спектров клофелина.....	39
Элькин М.Д., Пулин О.В. Моделирование колебательных спектров меркаптопурина.....	43
Розов А.С., Байбури В.Б., Ершов А.С. Аналитическое решение уравнений движения зарядов в скрещенных полях в условиях меняющегося пространства взаимодействия и электрического поля	47
Сысоев В.В., Киселев И.В. Применение мембранного покрытия SiO ₂ для дифференциации локальных газочувствительных свойств пленки SnO ₂ :Pt в составе однокристалльных мультисенсорных систем.....	50

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Гоц И.Ю., Климов А.С., Маджуло А.С., Нечаев Г.Г. Влияние соотношения воды в органическом электролите на диффузионно-кинетические характеристики и структуру Al-Sm сплава при потенциалах сорбции водорода... 66	66
Левкина Н.Л., Трофимов М.Ю., Устинова Т.П. Оценка структурных особенностей и свойств модифицированного полиамида 6	72
Назаров А.П., Окунькова А.А. Типовые образцы изделий, получаемых методом селективного лазерного спекания... 76	76
Панкеев В.В., Никифоров А.В., Свешникова Е.С., Панова Л.Г. Физико-химическая модификация целлюлозосодержащих отходов	83
Попова С.С., Гоц И.Ю., Закирова С.М., Рахметулина Л.А. Влияние состава активирующих растворов на качество металлического покрытия абс-пластика.....	86

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Макеев Д.Н. Влияние вводимых легирующих элементов на свойства стали.....	92
Маношин Д.В., Насад Т.Г. Повышение эффективности изготовления деталей и приборов в авиастроении из прецизионного сплава 36НХТЮ	98
Напольских М.С. Эксергетический анализ процесса производства экструдированных зернобобовых сэндвичей	102
Плотников А.Л., Зайцева Н.Г., Аветисян В.А., Динь Ньят Х. Пробный проход при лезвийной обработке металла с измерением термоЭДС как способ предварительной оценки свойств контактной пары: резец-стальная заготовка	109
Решетникова О.П., Королев А.В., Носков А.С. Экспериментальные исследования перспективного способа лобового шлифования дорожек качения колец упорных подшипников.....	113
Храмов А.А., Козина О.Л., Гунько Ю.Л., Михаленко М.Г. Распределение тока по высоте железного электрода различных конструкций в никель-железном аккумуляторе при заряде и разряде	117

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Волкова Т.А., Исмагилов Ф.Р. Перемешивание жидкостей под действием неоднородного электрического поля.....	121
Долотовский И.В., Ларин Е.А., Ленькова А.В., Долотовская Н.В. Эффективные системы энерго- и водообеспечения предприятий добычи, подготовки, переработки газа и газового конденсата.....	127
Семенов Б.А. Методика обоснования условий антиконденсации водяных паров в промышленных зданиях с использованием принципов термодинамического анализа.....	132
Симонов В.Ф., Селиванов А.А. Динамика термического разложения сернистого сланца с учетом эндотермического эффекта.....	141
Склемин А.А., Кушников В.А., Резчиков А.Ф. Модели и алгоритмы проверки выполнимости планов мероприятий при управлении промышленным предприятием	145

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Вязовский В.В., Пшеничный А.Г. Разработка метода активного контроля вакуумных свойств диффузионных соединений.....	153
---	-----

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Андреев Д.А., Воронов М.В. Метод построения онтологии технологических действий.....	160
Вешнева И.В., Мельников Л.А. Описание формирования профессиональных компетенций на основе комплексных полей статусных функций: применение мод Карунена-Лова для социальных исследований	168
Вешнева И.В., Травина Т.Л. Описание формирования профессиональных компетенций на основе комплексных полей статусных функций: новый подход к проблеме	175
Игнатьев А.А., Самойлова Е.М. Интеллектуализация мониторинга технологического процесса производства подшипников.....	182
Козлова Т.Д., Игнатьев А.А. Математическая обработка экспертной информации для построения базы знаний экспертной системы поддержки принятия решений при диагностировании автоматизированных станков.....	186
Комлева О.А., Игнатьев А.А. Программное обеспечение для управления магнитореологическим элементом в роботизированной системе.....	190
Самойлова Е.М., Игнатьев С.А. Интеллектуальный анализ и обработка данных о качестве механической обработки деталей.....	194
Тырин Е.А., Чередников А.А., Чуркин Г.М. Особенности формирования иерархических структур автоматизированных систем управления технологическими процессами.....	198

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Воронова Е.В., Павлов И.О., Гладких Т.В. Результат моделирования процесса сушки дисперсных сред	207
---	-----

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Ерёмин В.Г., Ван Лам Као Автоматизация оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений.....	212
Иноземцев В.К., Иноземцева О.В., Зыбенская Т.М. Влияние деформируемости основания на устойчивость высотных зданий и сооружений.....	217
Игнатьев А.С. Анализ кинематических моделей двухслойных плит с армирующим слоем из композитного материала	223
Страхов А.В., Иващенко Н.А., Тимохин Д.К. Влияние активных минеральных наполнителей на формирование структуры и свойств энергоэффективных строительных композитов	228
Шошин Е.А., Былинкина Н.Н. Структурообразование цементного камня в присутствии изомерных углеводов	230

ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ И КУЛЬТУРОЛОГИЯ

Григорян Т.В. Идея гуманизма в философии М.И. Веллера.....	237
Кулмагамбетова С.С. Воспитание через формирование патриотизма.....	243
Назарова Е.А. Ценностные ориентации и самочувствие мигрантов и их семей.....	246
Ручин А.В., Дюндина М.А. Особенности формирования доверия в предпринимательской среде.....	250

ЭКОЛОГИЯ

Иванова А.С., Бечина Д.Н. Экологическое обоснование зеленых насаждений в снижении уровня шума	255
---	-----

ЭКОНОМИКА

Абашев С.С. Рекуррентная модель инновационного проектирования в жилищном строительстве	259
Авдеева Ю.А. Управление адаптационной деятельностью организаций в сфере технического агросервиса АПК.....	262
Богунев Л.А. Субъектное экономическое мышление как фактор управления мотивацией экономической деятельности	267
Денисов В.Т., Авдеева Е.С. Концепция стратегического учета по центрам ответственности на макроуровне	271
Ермачков А.В. Контроллинг затрат предынвестиционной фазы строительных проектов службы заказчика	275
Колотырин Д.А. Институциональные инновации как результат институциональных изменений	281
Крысина И.Е., Елистратова Н.Н. Здоровье населения как базовая характеристика формирования рабочей силы	283
Кузнецов О.И., Сытник А.А., Терентьев К.С. Методы развития инновационной и инвестиционной деятельности экономических систем	288
Терентьев К.С., Кузнецов О.И., Сытник А.А. Прогнозирование инновационной деятельности предприятия медицинской промышленности.....	291
Трифорова Е.Н. Учет особенностей изменения структуры потребительского спроса в стратегии инновационного развития перерабатывающей промышленности.....	294

CONTENTS

MATHEMATICS AND MECHANICS

- Krysko A.V., Zhigalov M.V., Mitskevich S.A., Zagniboroda N.A., Dobriyan V.V., Kutepov I.E., Krysko V.A.** Nonlinear dynamics of vibration micromechanical gyroscopes. Part II. Calculation of the resonator in the form of a beam with the initial abnormality regarding geometrical non-linearity..... 7
- Manzhosov V.K., Novikova I.A.** Reflection and transition of the longitudinal wave with linear deformation under decreasing intensity within the rod connection possessing an elastic element 15

PHYSICS, RADIOTECHNICS AND ELECTRONICS

- Astakhov V.V., Balakin M.I.** Multistability formation mechanism in van der Pol generator with time-delayed feedback 24
- Bakhteev I.Sh.** Extension of the locking bandwidth complex device to injection-locked magnetron operating in the millimeter range 29
- Bakhteev I.Sh., Fursaev M.A.** Prediction of locking bandwidth the millimeter range magnetron..... 31
- Maseev E.V., Mullin V.V.** Evaluation of the currents within the vacuum interrupters operating under high-voltage circuit breaker pole 34
- Mullin V.V., Fursaev M.A.** Evaluation of arc motion speed in vacuum interrupters using transverse magnetic field contacts..... 37
- Pulin V.F., Elkin P.M.** Modelling of structures and spectra for clophelinum 40
- Elkin M.D., Pulin O.V.** Modelling of vibration spectra for mercaptopurine 43
- Rozov A.S., Baiburin V.B., Ershov A.S.** Analytical solution for equations of motion charges in crossed fields under the changing space and electric field..... 47
- Sysoev V.V., Kiselev I.V.** Employment of SiO₂ membrane coating to differentiate local gas-sensing properties of SnO₂:Pt thin films in single-crystal multisensor arrays..... 50

CHEMISTRY AND CHEMICAL TECHNOLOGIES

- Gots I.Yu., Klimov A.S., Madzhulo A.S., Nechaev G.G.** Impact of the water ratio in the organic electrolyte on the diffusion- kinetic properties and structure of the alloy at the potentials of hydrogen sorption 66
- Levkina N.L., Trofimov M.Yu., Ustinova T.P.** Assessment of structural traits and properties of the modified polyamide PA-6..... 72
- Nazarov A.P., Okunkova A.A.** Standard samples of the products received by selective laser sintering 77
- Pankeev V.V., Nikiforov A.V., Sveshnikova E.S., Panova L.G.** Physical and chemical modification of cellulose waste 83
- Popova S.S., Gotz I.Yu., Zakirova S.M., Rahmetulina L.A.** Impact of the activating solutions on the quality of copper coating ABS plastics 86

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING

- Makeev D.N.** Influence of alloying elements on the steel properties 92
- Manoshin D.V., Nasad T.G.** Using precision alloy 36HXTiO to improve the efficiency of parts and devices in aircraft manufacturing 98
- Napolskikh M.S.** Energy analysis in the production of extruded leguminous sandwiches 102
- Plotnikov A.L., Zaitseva N.G., Avetisian V.A., Din Njat H.** Test pass at the edge cutting metal working with measurements of the thermopower as a preliminary evaluation of properties contact pair: a cutting tool-steel preform 109
- Reshetnikova O.P., Korolev A.V., Noskov A.S.** Experimental research of an emerging method for bearing ring grinding 113
- Khramov A.A., Kozina O.L., Gunko Yu.L., Mikhalenko M.G.** Vertical distribution of charge and discharge currents within the iron construction electrodes of nickel-iron battery 118

POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING

- Volkova T.A., Ismagilov F.R.** Mixing dielectric liquids under the influence of non-uniform electric field 121
- Dolotovskiy I.V., Larin E.A., Lenkova A.V., Dolotovskaya N.V.** Efficient system energy and water supply enterprises production, treatment and processing of gas and gas condensate 127
- Semyonov B.A.** Feasibility method for anticondensation evaporation in industrial buildings using thermodynamic analysis principles..... 132
- Simonov V.F., Selivanov A.A.** Dynamics of sulphurous oil shale thermal decomposition considering the endothermal effect 141
- Sklemin A.A., Kushnikov V.A., Rezchikov A.F.** Models and algorithms for verification of the response plan management at industrial enterprises 145

MEASURING EQUIPMENT AND INSTRUMENT

- Vyazovsky V.V., Pschenichny A.G.** Development of the method of active control of vacuum diffusion properties of compounds..... 153

AUTOMATION AND CONTROL

- Andreev D.A., Voronov M.V.** A method for designing the ontology of technological actions 160

Veshneva I.V., Melnikov L.A. Description of professional competence development using complex fields of status functions: application of Karhunen-Loeve method for social investigations.....	168
Veshneva I.V., Travina T.L. Description of professional competence development using complex fields of status functions: a new approach to the problem.....	175
Ignatyev A.A., Samoilova E.M. Intellectualization of monitoring the technological process in bearings manufacturing.....	182
Kozlova T.D., Ignatyev A.A. Mathematical processing of expert information for creation of the knowledge base of expert system of support of decision-making when diagnosing the automatized machines.....	186
Komleva O.A., Ignatyev A.A. Software for controlling the magnetorheological element in the robotic system.....	190
Samoilova E.M., Ignatyev S.A. Database mining and data processing of the mechanical treatment quality	194
Tyrin E.A., Cherednikov A.A., Churkin G.M. Characteristic properties of the hierarchy of industrial control system.....	199
INFORMATION TECHNOLOGIES	
Voronova E.V., Pavlov I.O., Gladkikh T.V. Simulation outcomes of drying the dispersed media	207
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE	
Eremin V.G., Lam Cao Van Evaluation of transportation and automation condition of bridges.....	212
Inozemtsev V.K., Inozemtseva O.V., Zybenskaya T.M. Influence of foundation deformability on the stability of multistorey buildings and constructions	217
Ignatyev A.S. Analysis of kinematic models of two-layer slabs reinforced by a composite material layer	223
Strakhov A.V., Ivashchenko N.A., Timokhin D.K. Impact of active mineral fillers on the structure and properties of energy-efficient building composites.....	228
Shoshin E.A., Bylinkina N.N. Influence of isomeric carbohydrates on the structure of the cement composite	230
PHILOSOPHY, SOCIOLOGY AND CULTUROLOGY	
Grigoryan T.V. Ideas of humanism in the M.I. Veller philosophy	237
Kulmagambetova S.S. Education by means of patriotism	243
Nazarova E.A. System of values and feeling of migrants and their families	246
Ruchin A.V., Dyundina M.A. Features of trust formation in the business environment	250
ECOLOGY	
Ivanova A.S., Bechina D.N. Environmental justification for plants in the reduction of noise.....	255
ECONOMY	
Abashev S.S. Recurrent models of innovative design in house building	259
Avdeeva Yu.A. Management adaptation activities of technical organizations agroservis AIC.....	263
Bogunov L.A. Subject economic thinking as a factor of management of the motivation of economic activity	267
Denisov V.T., Avdeeva E.S. The concept of strategic account in terms of responsibility centers on the macrolevel....	271
Ermachkov A.V. Controlling pre-investment stage costs for developers of construction projects	276
Kolotyryn D.A. Institutional innovations as a result of institutional changes.....	281
Krygina I.E., Elistratova N.N. Health of the population as the basic characteristic of labour formation.....	283
Kuznetsov O.I., Sytnik A.A., Terentyev K.S. Methods for developing innovative and investment activity of economic systems	288
Terentyev K.S., Kuznetsov O.I., Sytnik A.A. Forecasting the innovative activity of the medical enterprises.....	291
Trifonova E.N. Meeting the structural changes in the consumer demand as an innovative strategy in the processing industry.....	295

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 531.383

А.В. Крысько, М.В. Жигалов, С.А. Мицкевич, Н.А. Загниборода,
В.В. Добрян, И.Е. Кутепов, В.А. Крысько

**НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА
ВИБРАЦИОННЫХ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ (ММГ)¹.
Часть II. РАСЧЕТ РЕЗОНАТОРА В ВИДЕ БАЛКИ С НАЧАЛЬНОЙ НЕПРАВИЛЬНОСТЬЮ
С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ**

Построена математическая модель нелинейного резонатора. В качестве примера приводится анализ колебаний балки с начальной неправильностью под действием поперечной знакопеременной нагрузки. Анализ проводится на основе качественной теории дифференциальных уравнений. Построены карты характера колебаний в зависимости от управляющих параметров (частота возбуждения и амплитуда). Построены зависимости Колмогорова-Синай, сжатия фазового объема и размерности Каплана – Йорке от нагрузки. Построен сценарий перехода в хаос, который соответствует сценарию Рюэлля-Таккенса-Ньюхауза.

Гироскоп, нелинейная динамика, навигация, управление

A.V. Krysko, M.V. Zhigalov, S.A. Mitskevich, N.A. Zagniboroda,
V.V. Dobriyan, I.E. Kutepov, V.A. Krysko

**NONLINEAR DYNAMICS OF VIBRATION MICROMECHANICAL GYROSCOPES. PART II.
CALCULATION OF THE RESONATOR IN THE FORM OF A BEAM
WITH THE INITIAL ABNORMALITY REGARDING GEOMETRICAL NON-LINEARITY**

The mathematical model of the nonlinear resonator is constructed. As an example the analysis of fluctuations of a beam with the initial abnormality under the influence of cross-section sign-variable loading is provided. The analysis is carried out on the basis of the qualitative theory of differential equations. Fluctuation cards depending on the operating parameters (frequency of excitement and amplitude) are constructed. Kolmogorov Sinai dependences, as well as phase volume compression and Kaplan-York dimension depending on the load are constructed. The scenario of transition to chaos which corresponds to Ruelle-Takens-Newhouse scenario is designed.

Gyroscope, nonlinear dynamics, navigation, control

Введение. В конце первой части работы «Нелинейная динамика вибрационных микромеханических гироскопов. Часть I. Обзор исследований» [1] ставятся ряд проблем, которые не были затронуты в работах, приведенных в [1]. Приведем некоторые работы, которыми можно дополнить обзор Части I. Так, в [2] приведен весьма полный обзор имевшихся на то время устройств, основанных на пьезоэффекте. Пьезокерамические резонаторы в этих моделях имеют различную форму: цилиндрической трубки, скрученной цилиндрической оболочки, кольца, пластины, имеющей поляризацию по толщине. Там же описана конструкция пьезогироскопа с двумя пьезокерамическими стержнями и присоединенной массой. Пьезокерамические элементы в этом устройстве поляризованы по толщине и испытывают деформации сдвига. Следует заметить, что все вибрационные гироскопы работают при вынуждающей частоте, которая находится в окрестности частоты собственных колебаний. При этом амплитуда колебаний в реальных устройствах остается конечной. Это обстоятельство

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 12-08-00569

делает актуальным учет внутреннего трения в деформируемых элементах датчика. Для создания математических моделей микроэлектромеханических систем – датчиков (МЭМС), необходимо исследовать колебания различных видов: растяжения-сжатия, крутильные, а также изгибные. Колебания при изгибе пластин рассматриваются также при моделировании работы резонаторов в устройствах беспроводной связи. Работа [3] содержит расчет резонатора с гибкими диафрагмами, которые совершают изгибные колебания при наличии демпфирования. Температурные деформации учитываются за счет введения осевой силы. Сравнительный анализ характеристик резонаторов различной конструкции приведен в [4]. При этом сделана попытка учесть физическую нелинейность материала в рамках простой модели с сосредоточенными параметрами. Обсуждается связь физической нелинейности и бифуркаций на амплитудно-частотной характеристике резонатора. Рассмотрены резонатор в виде балки с двумя защемленными концами, резонатор – консольная балка, а также резонатор объемных акустических волн в виде стержня переменного сечения, который испытывает деформации растяжения-сжатия. Расчет для последней конструкции был развит далее авторами для резонатора в виде пластины [5]. В [6] также рассмотрена модель балочного резонатора, в рамках которой вводится одна степень свободы $x(t)$ – стрела прогиба балки. Колебания описываются уравнением

$$m\ddot{x} + bx + k(x)x = F_e(x).$$

здесь m – приведенная (сосредоточенная) масса, b – демпфирование, $k(x)$ – жесткость, $F_e(x)$ – электростатическая сила. Эффекты от физической и геометрической нелинейности учитывались за счет степенной зависимости жесткости от стрелы прогиба

$$k(x) = k_0 + k_1x + k_2x^2 + k_3x^3 + k_4x^4.$$

Сила $F_e(x)$ представлялась разложением в ряд Тейлора по степеням x . Решение задачи далее сводилось к численному интегрированию системы четырех обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка относительно стрелы прогиба, скорости ее изменения, электрического напряжения и силы тока. При этом сами авторы работы отмечают, что использование моделей с распределенными параметрами позволяет получить более точные результаты, причем рассмотрены модели с одной степенью свободы, что является весьма грубым приближением для рассматриваемой задачи.

Методы анализа распределенных механических систем описаны в [7-11].

Ниже строятся математические модели резонатора в виде балки, которая рассматривается как распределенная система, конечной длины и с почти бесконечным числом степеней свободы.

Математическая модель. Для получения математической модели приняты следующие гипотезы: балка с начальной неправильностью (начальная неправильность учитывается коэффициентом $k_x = 1/R_x$); упругая и подчиняется закону Гука; справедлива гипотеза Бернулли-Эйлера; учитывается деформация срединной линии по теории Теодора фон Кармана. С учетом этих гипотез и использовании принципа Гамильтона – Остроградского получены дифференциальные уравнения в перемещениях. С использованием безразмерных переменных:

$$\begin{aligned} \bar{w} &= w/(2h), \quad \bar{u} = ua/(2h)^2, \quad \bar{x} = x/a, \quad \lambda = a/(2h), \quad \bar{q} = (qa^4)/(2h)^4 E \\ \bar{t} &= t/\tau, \quad \tau = a/c, \quad c = \sqrt{Eg/\vartheta}, \quad \bar{\varepsilon} = \varepsilon a/c, \quad \bar{k}_x = k_x a^2/(R2h). \end{aligned} \quad (1)$$

Уравнения примут вид (причём для простоты черточки над безразмерными величинами опускаются):

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + L_3(w, w) - k_x \frac{\partial w}{\partial x}, \\ \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \varepsilon \frac{\partial w}{\partial t} = q + \frac{1}{\lambda^2} \left\{ L_2(w, w) + L_1(u, w) - \frac{1}{12} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + k_x \left[\frac{\partial u}{\partial x} - k_x w - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - w \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] \right\}. \end{cases} \quad (2)$$

Граничные условия:

$$u(0, t) = u(1, t) = 0; \quad w(0, t) = w(1, t) = 0; \quad \frac{\partial^2 w(0, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 w(1, t)}{\partial x^2} = 0. \quad (3)$$

Начальные условия:

$$u_{t=0} = w_0; \quad \dot{u}|_{t=0} = 0; \quad w|_{t=0} = w_0; \quad \dot{w}|_{t=0} = 0. \quad (4)$$

здесь $w(x, t)$ – прогиб балки; $u(x, t)$ – перемещение вдоль оси ox ; $L_1(u, w) = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$,

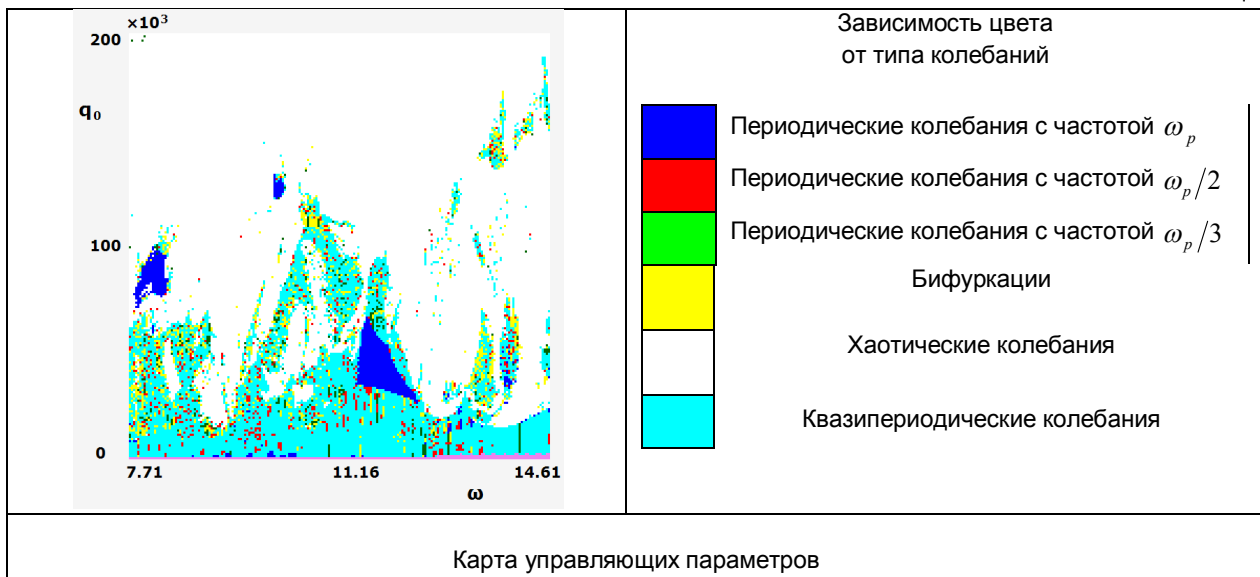
$L_2(w, w) = \frac{3}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2$, $L_3(w, w) = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial w}{\partial x}$, ε – коэффициент диссипации; $q = q(x, t)$ – попереч-

ная нагрузка; E – модуль Юнга; ν – коэффициент Пуассона; ρ – плотность материала; \mathcal{G} – удельный вес материала балки; g – ускорение свободного падения.

В связи с тем, что искомая система сильно нелинейная, получение ее решения в аналитической форме становится практически невозможным. Поэтому решение будем проводить численно двумя методами (конечного элемента в форме Бубнова – Галеркина и конечных разностей второго порядка точности по пространственным координатам), с помощью которых уравнения в частных производных сводятся к задаче Коши. Исследовались следующие вопросы по принципу Рунге: количество разбиений в методе конечных разностей по пространственной координате на 16, 32, 50, и 80 отрезков. Оказалось, что результаты по двум методам совпадают при $n=50$.

Для того, чтобы показать сложный характер колебаний резонатора под действием поперечной знакопеременной нагрузки $q = q_0 \sin(\omega_p t)$, где амплитуда меняется $0 \leq q_0 \leq 200 \cdot 10^3$, а частота ω_p находится в пределах $3.45 \leq \omega_p \leq 11.45$ ниже приведена карта режимов колебаний. Для построения карт управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$ оказалось достаточно разрешающей способности 200×200 , т.е. необходимо проанализировать $4 \cdot 10^4$ решений. Стоит отметить, что время счета карты с таким разбиением составляет 236 часов на компьютере с процессором AMD Phenon IX3 720. Каждую из решаемых задач необходимо проанализировать: сигнал спектра мощности, фазовый портрет, сечение Пуанкаре, автокорреляционные функции, Ляпуновские показатели, определенные по обобщенному алгоритму Бенеттина для конкретного набора $\{q_0, \omega_p\}$

Таблица 1



Здесь ω_0 – собственная безразмерная частота колебаний балки.

Отметим, что карта управляющих параметров $\{q_0, \omega_p\}$ позволяет оценить величину зон различных типов колебаний, определить значения амплитуды и частоты вынуждающей силы, при которых система переходит к хаотическим колебаниям, чтобы предотвратить такой сценарий в реальных объектах.

Далее рассмотрим сценарий перехода от гармонических колебаний к хаотическим при совпадении частот вынужденных и собственных колебаний $\omega_p = \omega_0$. Для некоторых параметров q_0 в табл. 2-4 приведены следующие характеристики:

- а) зависимость $w(0,5; t)$;
- б) спектр мощности, полученный с помощью быстрого преобразования Фурье $F(w)$;
- в) фазовый портрет $\dot{w}(w)$ в центре балки;
- г) зависимость $w(x; t)$ для значения времени $t = 1836$;

д) зависимость $\frac{\partial w(0,5;t)}{\partial x}$ от $w(0,5;t)$, при различных значениях t – модальный портрет;

е) сечение Пуанкаре $w(t)(w(t+T))$, где T – период вынуждающей нагрузки;

ж) отображение Пуанкаре – это проекция некоторой площадки в фазовом пространстве на себя вдоль траекторий системы.;

з) значения старших Ляпуновских показателей, график $\sum_{i=1}^4 \lambda_i(i)$, фрактальная размерность Каплана-Йорке, погрешность обучения нейронной сети, вычисляющей Ляпуновские показатели;

и), к) 2D вейвлеты Хаара и Морле;

л), м) 3D вейвлеты Хаара и Морле.

Фрактальную размерность аттрактора в фазовом пространстве R^N можно оценить с помощью спектра показателей Ляпунова. Такая оценка называется размерностью Каплана-Йорке D_{ky} и задается соотношением, называемым формулой Каплана-Йорке:

$$D_{ky} = k + \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i}{|\lambda_{k+1}|} \quad (5)$$

1. При $q_0 = 0,5 \cdot 10^3$ на спектре мощности Фурье присутствует только частота возбуждений $\omega_p = 11.16$. Сигнал, фазовый портрет и отображение Пуанкаре соответствуют гармоническим колебаниям.

2. При $q_0 = 2 \cdot 10^3$ на спектре мощности, кроме $\omega_p = 11.16$, появляется частота $\omega_1 = 1.41$, значение которой является линейно независимым от частоты вынуждающих колебаний.

3. При $q_0 = 6 \cdot 10^3$ добавляется частота $\omega_2 = \frac{1}{2}(\omega_p + \omega_1) = 6.28$, линейно зависящая от частот ω_p и ω_1 .

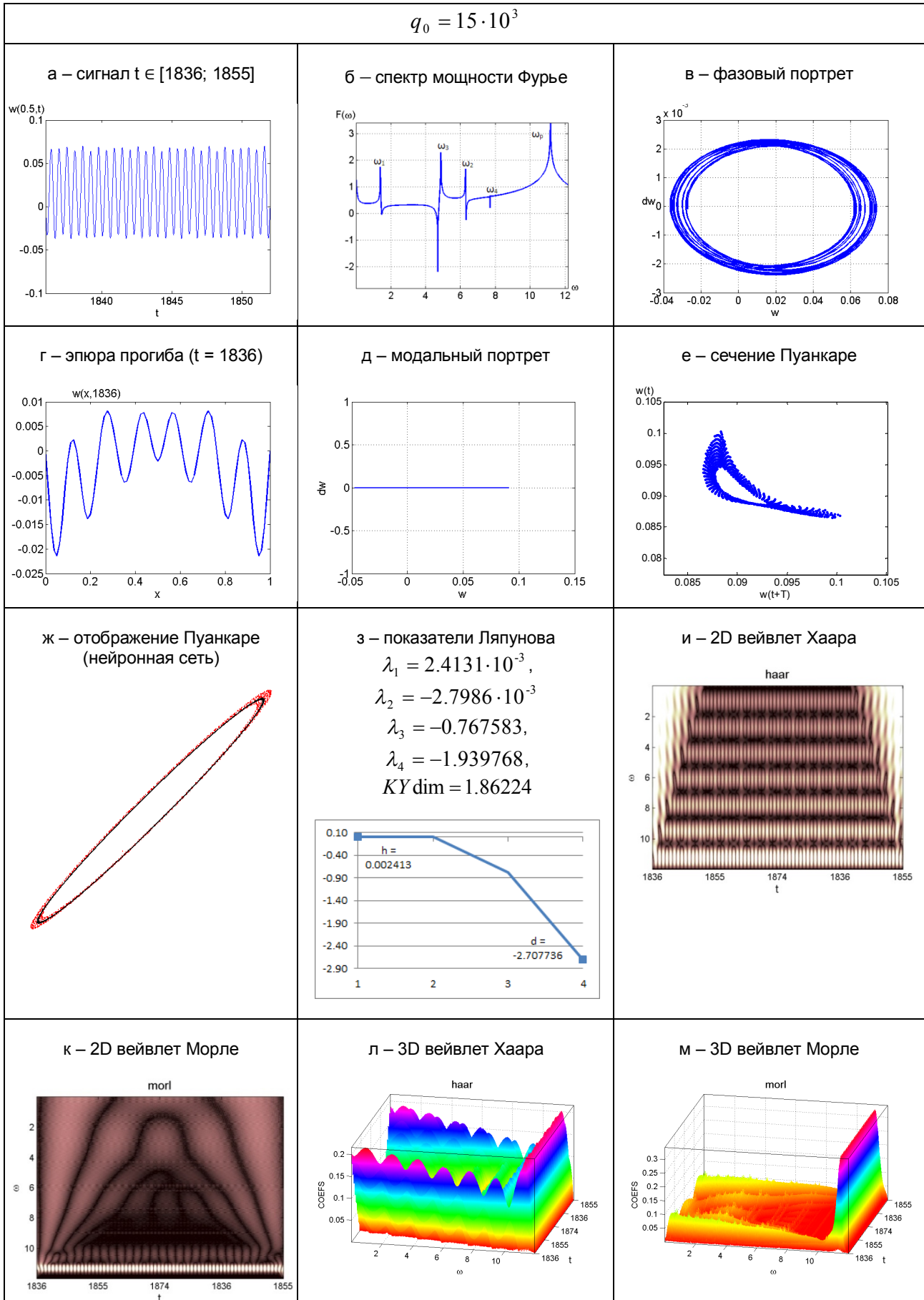
4. При $q_0 = 12.5 \cdot 10^3$ возникает еще одна зависящая частота $\omega_3 = \omega_2 - \omega_1 = 4.87$. Значение $q_0 = 15 \cdot 10^3$ (табл. 2) характеризуется появлением новой линейно зависящей частоты $\omega_4 = \omega_2 + \omega_1 = 7.7$. Отметим, что колебания по длине балки носят симметричный характер г) что и подтверждено модальным портретом д) – он имеет вид прямой линии. Старший показатель Ляпунова практически равен нулю, а третий и четвертый – отрицательны. Вейвлеты Хаара и Морле показывают, что максимальная энергия сосредоточена на частоте возбуждения.

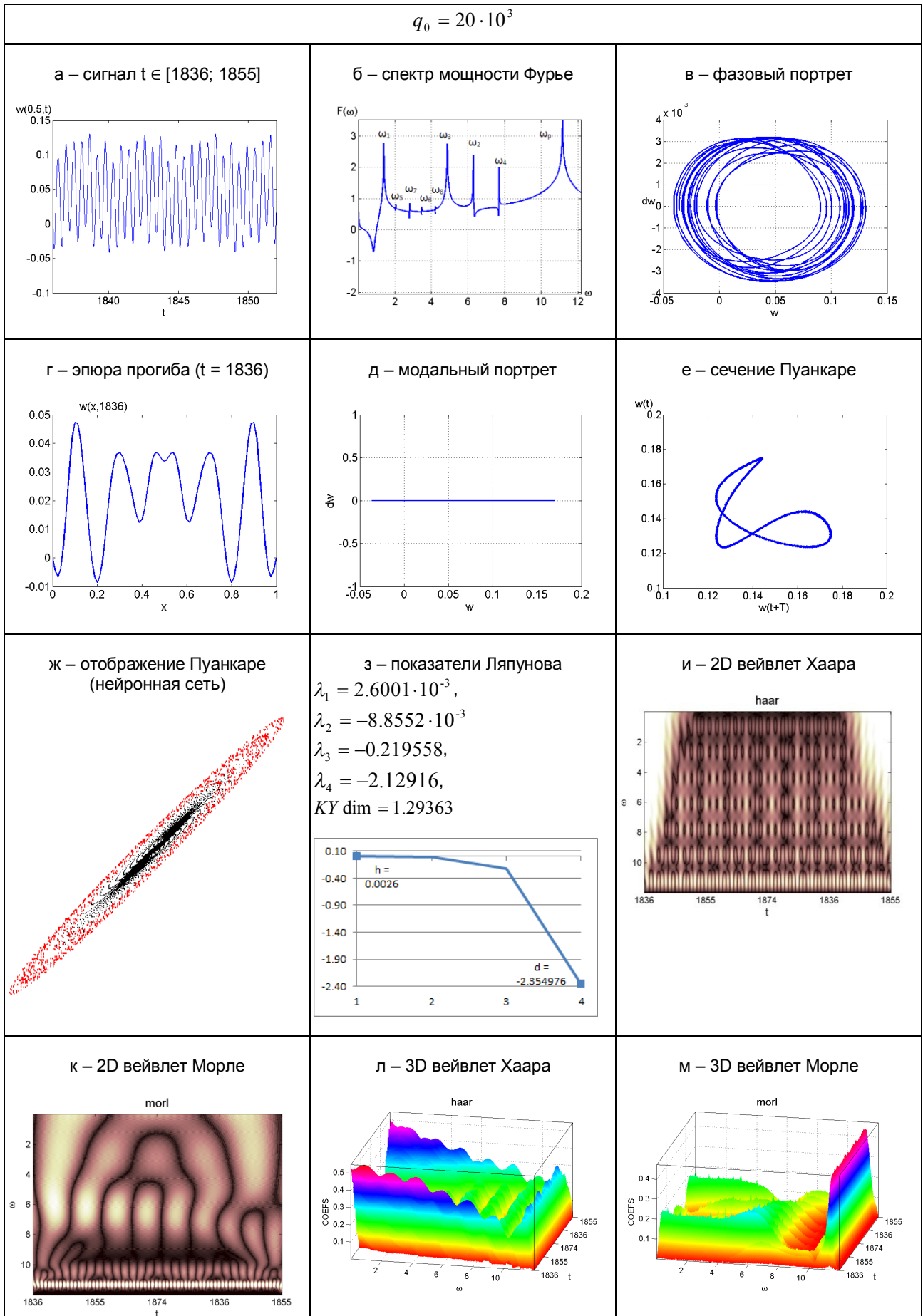
5. Дальнейшее увеличение нагрузки до $q_0 = 20 \cdot 10^3$ (табл. 3) приводит к появлению ряда зависящих частот и существенному изменению фазового портрета – фазовые линии начинают расходиться. Колебания по длине балки носят сложный характер, но имеют симметричный вид г, д. Отображение Пуанкаре рассыпается.

6. При $q_0 = 200 \cdot 10^3$ (табл. 4) наблюдается спектр мощности, соответствующий хаотическому режиму с по-прежнему преобладающей частотой $\omega_p = 11.16$. Однако вейвлеты Хаара и Морле показывают, что основная энергия системы сосредоточена на низких частотах. Сечение Пуанкаре представляет собой набор точек. Вид колебаний по длине балки несимметричен, что и отмечено на г, д.

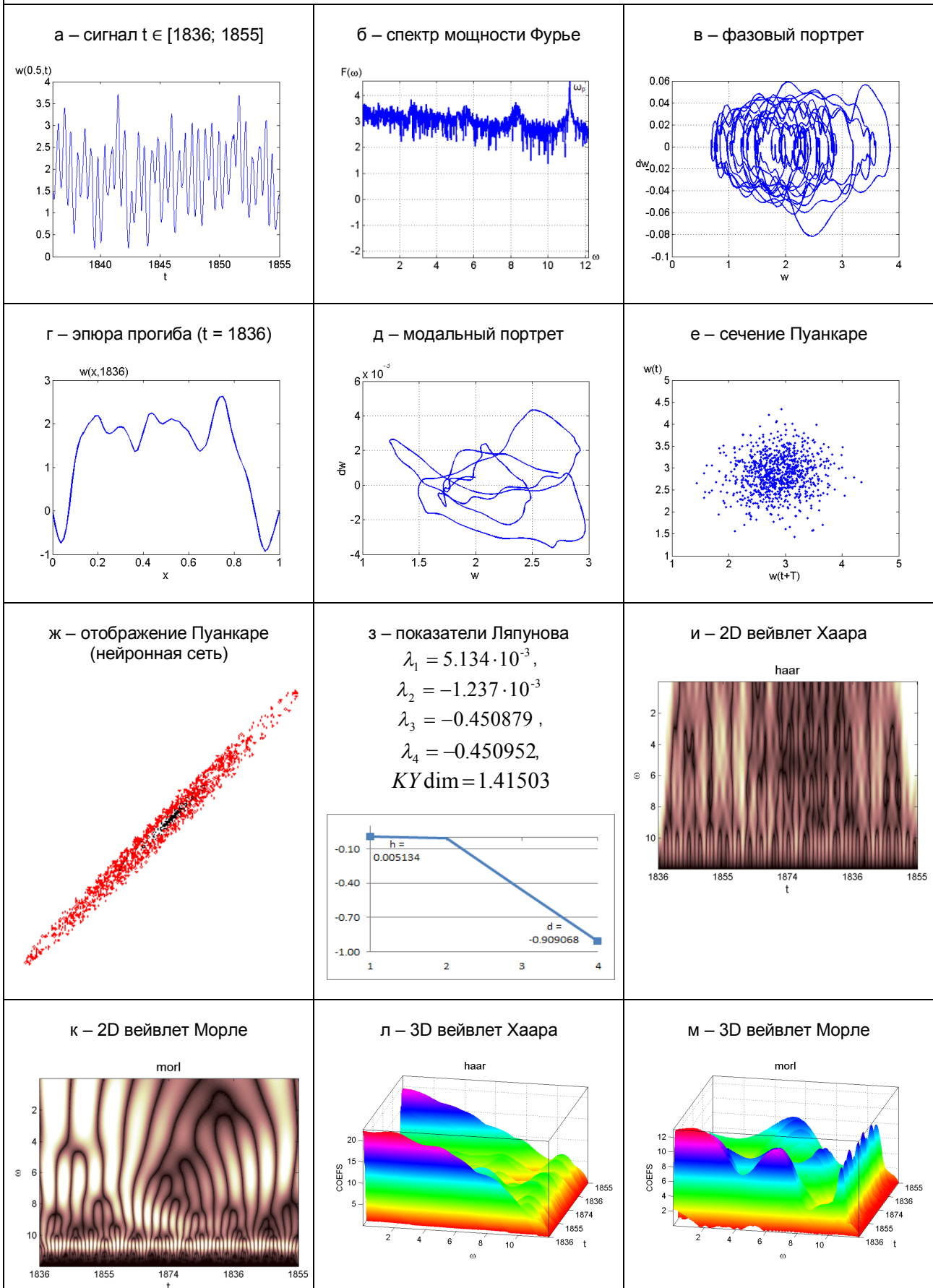
На рис. 1-3 представлены одни из важных показателей при изучении нелинейной динамики – зависимости КС энтропии от нагрузки, сжатия фазового объема от нагрузки, размерности Каплана – Йорке от нагрузки.

Как видно из рис. 1, КС энтропия растет по мере увеличения нагрузки за исключением интервала нагрузки (15000; 18500), где она начинает убывать. На этом интервале отсутствует и сжатие фазового объема (рис. 2). Отметим также, что интервал увеличения сжатия фазового объема соответствует интервалу роста размерности Каплана – Йорке.





$$q_0 = 200 \cdot 10^3$$



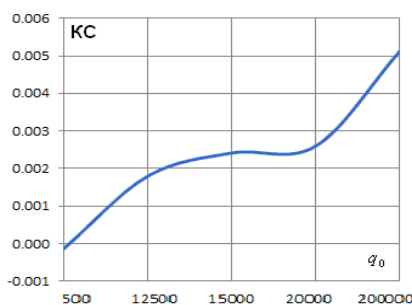


Рис. 1. Зависимость КС энтропии от нагрузки

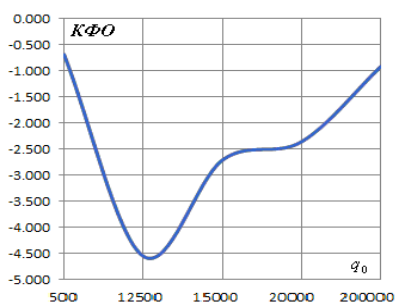


Рис. 2. Зависимость сжатия фазового объема (СФО) от нагрузки

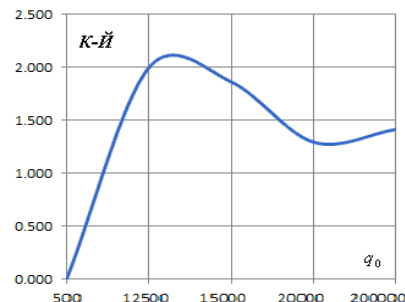


Рис. 3. Зависимость размерность Каплана-Йорке (К-Й) от нагрузки

ЛИТЕРАТУРА

1. Крысько А.В. Нелинейная динамика вибрационных микромеханических гироскопов (ММГ). Часть I. Обзор исследований / А.В. Крысько и др. // Вестник СГТУ. № 2. С. 18-23.
2. Yang J.S. Analysis of piezoelectric devices / J.S. Yang. Singapore: World Scientific Publishing, 2006. 520 p.
3. Weinberg Marc S. Modeling Flexural Plate Wave Devices / Marc S. Weinberg, Brian T. Cunningham, Christopher W. Clapp // Journal Of Microelectromechanical Systems. 2000. 9. № 3. P. 370-379.
4. Kaajakari V. Nonlinear Limits for Single-Crystal Silicon Microresonators / V. Kaajakari, T. Mattila, A. Oja, H. Seppä // Journal Of Microelectromechanical Systems. 2004. 13. № 5. P. 715-724.
5. Analysis of vibration modes in a micromechanical square-plate resonator / O. Holmgren, K. Kokkonen, T. Veijola, T. Mattila, V. Kaajakari, A. Oja, J.V. Knuutila, M. Kaivola // Journal Of Micro-mechanics And Microengineering. 2009. 19. № 1. P. 015028.
6. Modelling the dynamics of a MEMS resonator: Simulations and experiments / R.M.C. Mestrom, R.H.B. Fey, J.T.M. van Beek, K.L. Phan, H. Nijmeijer // Sensors and Actuators. A. 2008. 142. P.306-315.
7. Krysko V.A. Nonlinear dynamics of continuous elastic systems / V.A. Krysko, J. Awrejcewicz, A. Vakakis. Springer, 2004. 341 p.
8. Awrejcewicz J. CRC Series: Modern Mechanics and Mathematics. Introduction to asymptotic methods / J. Awrejcewicz, V.A. Krysko. N.Y.: Chapman&Hall/SRC. 2006. 251 p.
9. Awrejcewicz J. Routes to chaos in continuous mechanical systems. Part 1: Mathematical models and solution methods, Chaos, Solitons & Fractals / J. Awrejcewicz, A.V. Krysko, I.V. Papkova, V.A. Krysko // Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena, 45 (2012) 687-708.
10. Awrejcewicz J. Routes to chaos in continuous mechanical systems: Part 2. Modelling transitions from regular to chaotic dynamics. Chaos, Solitons & Fractals / J. Awrejcewicz, A.V. Krysko, I.V. Papkova, V.A. Krysko // Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena, 45 (2012) 709-720.
11. Awrejcewicz J. Routes to chaos in continuous mechanical systems. Part 3: The Lyapunov exponents, hyper, hyper-hyper and spatial-temporal chaos. Chaos, Solitons & Fractals / J. Awrejcewicz, A.V. Krysko, I.V. Papkova, V.A. Krysko // Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena, 45 (2012) 721-736.

Крысько Вадим Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Математика и моделирование» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Жигалов Максим Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и моделирование» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Крысько Антон Вадимович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Высшая математика и механика» Энгельсского технологического

Vadim A. Krysko – Dr.Sc., Professor
Head: Department of Mathematics and Modelling
Gagarin Saratov State Technical University

Maxim V. Zhigalov – PhD, Associate Professor
Department of Mathematics and Modelling
Gagarin Saratov State Technical University

Anton V. Krysko – Dr.Sc., Professor
Head: Department of Further Mathematics and Mechanical Science

института – филиала Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Мицкевич Светлана Александровна –
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Прикладная математика
и системный анализ» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Добриян Виталий Вячеславович –
аспирант кафедры «Прикладная математика
и системный анализ» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Кутепов Илья Евгениевич –
аспирант кафедры «Прикладная математика
и системный анализ» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Загниборода Николай Александрович –
аспирант кафедры «Прикладная математика
и системный анализ» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Engels Technological Institute (branch)
Gagarin Saratov State Technical University

Svetlana A. Mitskevich –
PhD, Associate Professor
Department of Applied Mathematics
and System Analysis
Gagarin Saratov State Technical University

Vitaly V. Dobriyan –
Postgraduate
Department of Applied Mathematics
and System Analysis
Gagarin Saratov State Technical University

Ilya E. Kutevov –
Postgraduate
Department of Applied Mathematics
and System Analysis
Gagarin Saratov State Technical University

Nikolai A. Zagniboroda –
Postgraduate
Department of Applied Mathematics
and System Analysis
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 03.04.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 531.3; 534.1

В.К. Манжосов, И.А. Новикова

ОТРАЖЕНИЕ И ПЕРЕХОД ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИИ ЛИНЕЙНОЙ ФОРМЫ С УБЫВАЮЩЕЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ В СОЕДИНЕНИИ СТЕРЖНЕЙ С УПРУГИМ ЭЛЕМЕНТОМ

Рассмотрен процесс преобразования продольной волны деформации на границе разнородных стержней с упругой прокладкой. Изложена методика расчета процесса преобразования волны деформации линейной формы. Определены параметры волны, прошедшей через соединение стержней.

Волна деформации, волновые уравнения, метод бегущих волн, преобразование волны деформации, стержневая система, сопряжение стержней с упругой прокладкой

V.K. Manzhosov, I.A. Novikova

REFLECTION AND TRANSITION OF THE LONGITUDINAL WAVE WITH LINEAR DEFORMATION UNDER DECREASING INTENSITY WITHIN THE ROD CONNECTION POSSESSING AN ELASTIC ELEMENT

The paper gives a review of the longitudinal strain wave transformation at the boundary of heterogeneous rods with an elastic gasket. The article describes a technique for calculating the transformation of the linear strain wave. The parameters of the wave passed through connection of rods are defined.

Strain wave, wave equations, traveling wave method, transformation of the strain wave, rod system, conjugation of rods with elastic gasket

Введение. Поведение волны деформации на границе сопряжения стержней требует изучения при создании технических систем, обеспечивающих перенос энергии продольных волн, сформированных при ударе, к технологической среде по составному волноводу [1, 2]. Если в стержневой системе имеются сопряжения разнородных участков, то на границе сопряжения возникают процессы, связанные с отражением и трансформацией волн [3, 4, 5, 6].

В данной работе рассмотрена задача о преобразовании продольной волны деформации на границе сопряжения участков стержневой системы с упругой прокладкой. Схема стержневой системы изображена на рис. 1.

Два полуограниченных разнородных стержня 1 и 2 (рис. 1) в сечениях $x = x_1$ и $x = x_2$ разделены упругой прокладкой 3. Инерционными свойствами упругой прокладки пренебрегаем, учитывая лишь её упругие свойства.

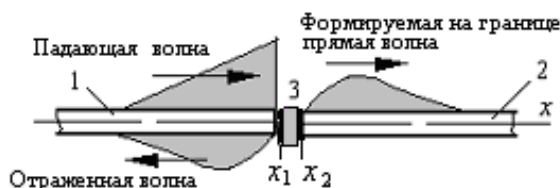


Рис. 1. Схема стержневой системы при падающей волне деформации:
1, 2 – стержни системы; 3 – упругая прокладка

На границу $x = x_1$ со стороны стержня 1 падает прямая волна. Параметры падающей волны считаются известными. Требуется определить формируемую в сечении $x = x_2$ прямую волну, распространяющуюся в направлении оси x по стержню 2, и обратную волну, формирующуюся в сечении $x = x_1$ и распространяющуюся по стержню 1 в другом направлении.

Волновая модель системы. Построение решения. Движение сечений рассматриваемой динамической системы описывается волновыми уравнениями

$$\frac{\partial^2 u_1(x, t)}{\partial x^2} - \frac{1}{a_1^2} \cdot \frac{\partial^2 u_1(x, t)}{\partial t^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 u_2(x, t)}{\partial x^2} - \frac{1}{a_2^2} \cdot \frac{\partial^2 u_2(x, t)}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где $u_1(x, t)$, $u_2(x, t)$ – смещения сечений соответственно 1-го и 2-го стержней, a_1 , a_2 – скорости распространения волн деформаций в стержнях; x – координата поперечного сечения, t – время.

Начальное состояние системы описывается равенствами:

$$\text{при } t = 0 \quad u_1(x, 0) = u(x), \quad u_2(x, 0) = 0, \quad \frac{\partial u_1(x, 0)}{\partial t} = v(x), \quad \frac{\partial u_2(0, 0)}{\partial t} = 0. \quad (2)$$

Граничные условия рассматриваемой динамической системы имеют вид: для $x = 0$

$$E_1 A_1 \frac{\partial u_1(0, t)}{\partial x} = E_2 A_2 \frac{\partial u_2(0, t)}{\partial x}, \quad E_2 A_2 \frac{\partial u_2(0, t)}{\partial x} = -k [u_1(0, t) - u_2(0, t)], \quad (3)$$

$$\text{для } x = -\infty \quad E_1 A_1 \frac{\partial u_1(-\infty, t)}{\partial x} = 0, \quad \text{для } x = \infty \quad E_2 A_2 \frac{\partial u_2(\infty, t)}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

где k – жесткость упругого элемента; E_1 , E_2 – модули упругости материалов стержней; A_1 , A_2 – площади поперечных сечений стержней.

По методу бегущих волн решения уравнений (1) предоставляются в виде

$$u_1(x, t) = f_1(a_1 t - x) + \varphi_1(a_1 t + x), \quad -\infty \leq x \leq 0, \quad (5)$$

$$u_2(x, t) = f_2(a_2 t - x) + \varphi_2(a_2 t + x), \quad 0 \leq x \leq \infty, \quad (6)$$

где $f_1(a_1 t - x)$, $f_2(a_2 t - x)$ – функции, описывающие волны деформации, распространяющиеся слева направо (прямые волны); $\varphi_1(a_1 t + x)$, $\varphi_2(a_2 t + x)$ – функции, описывающие волны деформации, распространяющиеся справа налево (обратные волны).

Так как стержень 2 полуограниченный и в начальный момент времен находится в состоянии покоя, то можно принять, что $\varphi_2(a_2 t + x) = 0$. Тогда

$$u_1(x, t) = f_1(a_1 t - x) + \varphi_1(a_1 t + x), \quad u_2(x, t) = f_2(a_2 t - x). \quad (7)$$

Продифференцируем последние равенства по x :

$$\frac{\partial u_1(x, t)}{\partial x} = -f_1'(a_1 t - x) + \varphi_1'(a_1 t + x), \quad \frac{\partial u_2(x, t)}{\partial x} = -f_2'(a_2 t - x). \quad (8)$$

Для сечения $x = 0$

$$\frac{\partial u_1(0, t)}{\partial x} = -f_1'(a_1 t - 0) + \varphi_1'(a_1 t + 0), \quad \frac{\partial u_2(0, t)}{\partial x} = -f_2'(a_2 t - 0). \quad (9)$$

Используя (9) в первом граничном условии (3), получим

$$\varphi_1'(a_1 t + 0) = -\frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} f_2'(a_2 t - 0) + f_1'(a_1 t - 0). \quad (10)$$

Рассмотрим второе граничное условие (3) с учетом (7) и (9) при $x = 0$:

$$E_2 A_2 f_2'(a_2 t - 0) = k [f_1(a_1 t - 0) + \varphi_1(a_1 t + 0) - f_2(a_2 t - 0)].$$

Дифференцируя по t , приходим к равенству

$$f_2''(a_2 t - 0) = \frac{k a_1}{E_2 A_2 a_2} \left[2 f_1'(a_1 t - 0) - \frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} f_2'(a_2 t - 0) - \frac{a_2}{a_1} f_2'(a_2 t - 0) \right].$$

Данное уравнение преобразуем к виду

$$f_2''(a_2 t - 0) + \frac{k(r+1)}{E_2 A_2 r} f_2'(a_2 t - 0) = \frac{2k a_1}{E_2 A_2 a_2} f_1'(a_1 t - 0), \quad (11)$$

где $r = \frac{E_1 A_1}{a_1} \frac{a_2}{E_2 A_2}$ – отношение волнового сопротивления $\frac{E_1 A_1}{a_1}$ стержня 1 к волновому сопротивлению $\frac{E_2 A_2}{a_2}$ стержня 2.

Обозначим отношения

$$\frac{k(r+1)}{E_2 A_2 r} = \alpha, \quad \frac{2k a_1}{E_2 A_2 a_2} = \beta. \quad (12)$$

Тогда из (11)

$$f_2''(a_2 t - 0) + \alpha f_2'(a_2 t - 0) = \beta f_1'(a_1 t - 0). \quad (13)$$

Введём переменную $\xi = a_2 t - 0$. Решение дифференциального уравнения (13) представим как

$$f_2'(\xi) = V(\xi) \cdot Z(\xi), \quad (14)$$

$$V(\xi) = C_1 \cdot \exp(-\alpha \xi), \quad Z(\xi) = \int \frac{\beta f_1'(a_1 t - 0)}{V(\xi)} d\xi + C_2, \quad (15)$$

где C_1, C_2 – постоянные интегрирования.

Решение (14) зависит от функции $f_1'(a_1 t - 0)$, определяющей параметры волны деформации, падающей на границу сопряжения стержней от стержня 1.

Преобразование линейной волны с убывающей интенсивностью. Рассмотрим процесс преобразования линейной волны деформации $f_1'(a_1 t - 0)$ и формирования в стержне 2 волны $f_2'(a_2 t - 0)$. Предположим, что подходящая к упругому элементу волна деформации имеет треугольную форму с убывающей интенсивностью. Схема стержневой системы изображена на рис. 2.

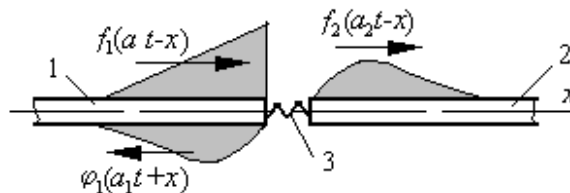


Рис. 2. Схема стержневой системы при падающей треугольной волне деформации с убывающей интенсивностью: 1, 2 – стержни системы; 3 – упругий элемент

Функция $f_1'(a_1t-0)$, определяющая параметры волны деформации, падающей на границу соприкосновения стержней со стороны стержня 1, имеет вид

$$f_1'(a_1t-0) = \begin{cases} \varepsilon(0) - \frac{\varepsilon(0)}{T} \cdot t = \varepsilon(0) \left(1 - \frac{a_2t}{a_2T}\right) = \varepsilon(0) \left(1 - \frac{\xi}{a_2T}\right), & 0 \leq t \leq T, \\ 0, & t > T, \end{cases} \quad (16)$$

где $\varepsilon(0)$ – значение функции $f_1'(a_1t-0)$ при $t=0$; T – длительность действия падающей волны; t – время.

Учитывая (16) в (15) при определении функции $Z(\xi)$, находим на интервале $0 \leq t \leq T$

$$Z(\xi) = \int \frac{\beta \varepsilon(0) \left(1 - \frac{\xi}{a_2T}\right)}{C_1 \exp(-\alpha \xi)} d\xi + C_2 = \frac{\beta \varepsilon(0)}{a_2 T C_1} \left(\frac{a_2 T}{\alpha} + \frac{1}{\alpha^2} - \frac{\xi}{\alpha}\right) \exp(\alpha \xi) + C_2.$$

Решение (14) с учётом (15) и найденного значения функции $Z(\xi)$ на интервале $0 \leq t \leq T$ примет вид

$$f_2'(\xi) = V(\xi) \cdot Z(\xi) = \varepsilon(0) \frac{\beta}{\alpha} \left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T} - \frac{\xi}{a_2 T}\right) + C \cdot \exp(-\alpha \xi), \quad 0 \leq t \leq T. \quad (17)$$

Постоянную интегрирования C найдём из условия, что в начальный момент времени при $\xi = 0$ упругий элемент не деформирован и значение $f_2'(0) = 0$:

$$0 = \varepsilon(0) \frac{\beta}{\alpha} \left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T}\right) + C, \quad C = -\varepsilon(0) \frac{\beta}{\alpha} \left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T}\right).$$

Подставляя значение C в (17), получим

$$f_2'(a_2t-0) = \varepsilon(0) \frac{\beta}{\alpha} \left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T} - \frac{t}{T}\right) - \varepsilon(0) \frac{\beta}{\alpha} \left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T}\right) \cdot \exp(-\alpha a_2 t), \quad 0 \leq \frac{t}{T} \leq 1.$$

Группируя слагаемые, приходим к выражению

$$f_2'(a_2t-0) = \varepsilon(0) \frac{\beta}{\alpha} \left[\left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T}\right) (1 - \exp(-\alpha a_2 t)) - \frac{t}{T} \right], \quad 0 \leq \frac{t}{T} \leq 1. \quad (18)$$

Рассмотрим теперь процесс формирования волны деформации $f_2'(\xi)$ после завершения действия падающей волны на интервале $t \geq T$, когда $f_1'(a_1t-0) = 0$. Учитывая в (15) при определении функции $Z(\xi)$, что на интервале $t \geq T$ функция $f_1'(a_1t-0) = 0$, находим

$$Z(\xi) = \int \frac{\beta f_1'(a_1t)}{V(\xi)} d\xi + C_2 = C_2, \quad t \geq T,$$

а решение (14) на интервале $t \geq T$ представим как

$$f_2'(\xi) = C \cdot \exp(-\alpha \xi), \quad t \geq T. \quad (19)$$

Постоянную интегрирования C найдём из условия, что в момент времени $t = T$ значение функции $f_2'(\xi)$ определяется из (18) при $t = T$:

$$\varepsilon(0) \frac{\beta}{\alpha} \left[\left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T}\right) (1 - \exp(-\alpha a_2 T)) - 1 \right] = C \cdot \exp(-\alpha a_2 T),$$

откуда

$$C = \varepsilon(0) \frac{\beta}{\alpha} \left[\left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T}\right) (1 - \exp(-\alpha a_2 T)) - 1 \right] \exp(\alpha a_2 T).$$

Подставив значение C в (19), получим

$$f'_2(a_2t-0) = \varepsilon(0) \frac{\beta}{\alpha} \left[\left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T} \right) (1 - \exp(-\alpha a_2 T)) - 1 \right] \exp(-\alpha a_2 (t-T)), \quad t \geq T.$$

Итак, если волна $f'_1(a_1t-0)$ имеет треугольную форму с убыванием интенсивности

$$f'_1(a_1t-0) = \begin{cases} \varepsilon(0) \left(1 - \frac{t}{T} \right), & 0 \leq t \leq T, \\ 0, & t > T, \end{cases}$$

то формируемая в стержне 2 волна деформации $f'_2(a_2t-0)$ имеет вид

$$f'_2(a_2t-0) = \begin{cases} \varepsilon(0) \frac{\beta}{\alpha} \left[\left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T} \right) (1 - \exp(-\alpha a_2 t)) - \frac{t}{T} \right], & 0 \leq \frac{t}{T} \leq 1, \\ \varepsilon(0) \frac{\beta}{\alpha} \left[\left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T} \right) (1 - \exp(-\alpha a_2 T)) - 1 \right] \exp(-\alpha a_2 (t-T)), & \frac{t}{T} \geq 1, \end{cases}$$

Из (10) формируемая в сечении $x = 0$ обратная волна определяется как

$$\varphi'_1(a_1t+0) = -\frac{E_2 A_2}{E_1 A_1} \frac{a_1 a_2}{a_1 a_2} f'_2(a_2t-0) + f'_1(a_1t-0) = -\frac{1}{r} \frac{a_2}{a_1} f'_2(a_2t-0) + f'_1(a_1t-0).$$

Для большей универсальности целесообразно перейти к относительным величинам при определении падающей и формируемых волн. Так, относительное значение функции падающей прямой волны

$$\tilde{f}'_1(a_1t-0) = \frac{f'_1(a_1t-0)}{\varepsilon(0)} = \begin{cases} \left(1 - \frac{t}{T} \right), & 0 \leq t \leq T, \\ 0, & t > T. \end{cases} \quad (21)$$

Относительное значение функции формируемой в сечении $x = 0$ прямой волны

$$\tilde{f}'_2(a_2t-0) = \frac{f'_2(a_2t-0)}{\varepsilon(0)} = \begin{cases} \frac{\beta}{\alpha} \left[\left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T} \right) (1 - \exp(-\alpha a_2 t)) - \frac{t}{T} \right], & 0 \leq \frac{t}{T} \leq 1, \\ \frac{\beta}{\alpha} \left[\left(1 + \frac{1}{\alpha a_2 T} \right) (1 - \exp(-\alpha a_2 T)) - 1 \right] \cdot \exp(-\alpha a_2 T (t/T - 1)), & \frac{t}{T} \geq 1. \end{cases} \quad (22)$$

Относительное значение функции формируемой в сечении $x = 0$ обратной волны

$$\tilde{\varphi}'_1(a_1t+0) = \frac{\varphi'_1(a_1t+0)}{\varepsilon(0)} = -\frac{1}{r} \frac{a_2}{a_1} \tilde{f}'_2(a_2t-0) + \tilde{f}'_1(a_1t-0).$$

При расчете значений $\tilde{f}'_2(a_2t-0)$ $\tilde{\varphi}'_1(a_1t+0)$ целесообразно учитывать, что

$$\begin{aligned} \frac{\beta}{\alpha} &= \frac{2ka_1}{E_2 A_2 a_2} \cdot \frac{E_2 A_2 r}{k(r+1)} = \frac{2r}{r+1} \cdot \frac{a_1}{a_2}, \\ \alpha a_2 t &= \frac{k}{E_2 A_2} \cdot \frac{r+1}{r} a_2 t = \frac{k}{E_2 A_2} \cdot \frac{r+1}{r} a_2 t \cdot \frac{\Delta l}{\Delta l} = \tilde{k} \frac{r+1}{r} \cdot \frac{t}{\Delta T} = \tilde{k} \frac{r+1}{r} \tilde{t}, \\ \alpha a_2 T &= \tilde{k} \frac{r+1}{r} \cdot \frac{T}{\Delta T} = \tilde{k} \frac{r+1}{r} \tilde{T}, \quad \frac{t}{T} = \frac{t}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta T}{T} = \frac{\tilde{t}}{\tilde{T}}, \end{aligned}$$

где Δl – единица длины стержня 2, $\tilde{k} = \frac{k \cdot \Delta l}{E_2 A_2}$ – отношение жесткости упругого элемента к продоль-

ной жесткости единицы длины стержня 2, $\Delta T = \frac{\Delta l}{a_2}$ – время прохождения волной деформации рас-

стояния Δl во втором стержне, $\tilde{t} = \frac{t}{\Delta T}$ – отношение текущего времени t к ΔT , $\tilde{T} = \frac{T}{\Delta T}$ – отношение длительности падающей волны T к ΔT .

С учетом представленных равенств имеем

$$\tilde{f}'_2(a_2t-0) = \begin{cases} \frac{2r}{r+1} \cdot \frac{a_1}{a_2} \left[\left(1 + \frac{1}{\tilde{k} \frac{r+1}{r} \tilde{T}} \right) \left(1 - \exp\left(-\tilde{k} \frac{r+1}{r} \tilde{t}\right) \right) - \frac{\tilde{t}}{\tilde{T}} \right], & 0 \leq \frac{\tilde{t}}{\tilde{T}} \leq 1, \\ \frac{2r}{r+1} \cdot \frac{a_1}{a_2} \left[\left(1 + \frac{1}{\tilde{k} \frac{r+1}{r} \tilde{T}} \right) \left(1 - \exp\left(-\tilde{k} \frac{r+1}{r} \tilde{T}\right) \right) - 1 \right] \cdot \exp\left(-\tilde{k} \frac{r+1}{r} \tilde{T} \left(\frac{\tilde{t}}{\tilde{T}} - 1\right)\right), & \frac{\tilde{t}}{\tilde{T}} \geq 1, \end{cases} \quad \tilde{\varphi}'_1(a_1t+0) = -\frac{1}{r} \frac{a_2}{a_1} \tilde{f}'_2(a_2t+0) + \tilde{f}'_1(a_1t+0). \quad (23)$$

Результаты расчета. В таблице представлены результаты расчета формируемых в сечении $x = 0$ прямой $\tilde{f}'_2(a_2t-0)$ и обратной $\tilde{\varphi}'_1(a_1t+0)$ волн по формулам (23) при следующих параметрах механической системы: относительная длительность падающей волны $\tilde{T} = T / \Delta T = 1$, отношение волновых сопротивлений $r = 1$, скорости распространения волн $a_1 = a_2$.

Эти результаты показывают изменение параметров формируемых волн в зависимости от относительного времени \tilde{t} при различной жесткости упругого элемента \tilde{k} .

Преобразование волны треугольной формы с убывающей интенсивностью

	$\tilde{T} = 1, \tilde{k} = 1, r = 1$			$\tilde{T} = 1, \tilde{k} = 2, r = 1$		$\tilde{T} = 1, \tilde{k} = 5, r = 1$	
\tilde{t}	\tilde{f}'_1	\tilde{f}'_2	$\tilde{\varphi}'_1$	\tilde{f}'_2	$\tilde{\varphi}'_1$	\tilde{f}'_2	$\tilde{\varphi}'_1$
0	1	0	1	0	1	0	1
0,1	0,9	0,171904	0,728096	0,3121	0,5879	0,595333	0,304667
0,2	0,8	0,29452	0,50548	0,488339	0,311661	0,751131	0,048869
0,3	0,7	0,376783	0,323217	0,573507	0,126493	0,745234	-0,04523
0,4	0,6	0,426007	0,173993	0,597629	0,002371	0,679853	-0,07985
0,5	0,5	0,448181	0,051819	0,580831	-0,08083	0,592588	-0,09259
0,6	0,4	0,448209	-0,04821	0,536603	-0,1366	0,497273	-0,09727
0,7	0,3	0,430105	-0,1301	0,473987	-0,17399	0,398997	-0,099
0,8	0,2	0,397155	-0,19716	0,399047	-0,19905	0,299631	-0,09963
0,9	0,1	0,352052	-0,25205	0,315845	-0,21585	0,199864	-0,09986
1	0	0,296997	-0,297	0,227105	-0,22711	0,09995	-0,09995
1,1	0	0,243161	-0,24316	0,152233	-0,15223	0,03677	-0,03677
1,2	0	0,199083	-0,19908	0,102045	-0,10205	0,013527	-0,01353
1,3	0	0,162995	-0,163	0,068403	-0,0684	0,004976	-0,00498
1,4	0	0,133449	-0,13345	0,045852	-0,04585	0,001831	-0,00183
1,5	0	0,109259	-0,10926	0,030735	-0,03074	0,000673	-0,00067
1,6	0	0,089454	-0,08945	0,020603	-0,0206	0,000248	-0,00025
1,8	0	0,059963	-0,05996	0,009257	-0,00926	≈ 0	≈ 0
2	0	0,040194	-0,04019	0,00416	-0,00416	≈ 0	≈ 0

Диаграммы волн для $\tilde{k} = 1$ (относительная длительность падающей волны $\tilde{T} = 1$, отношение волновых сопротивлений $r = 1$, скорости распространения волн $a_1 = a_2$) приведены на рис. 3.

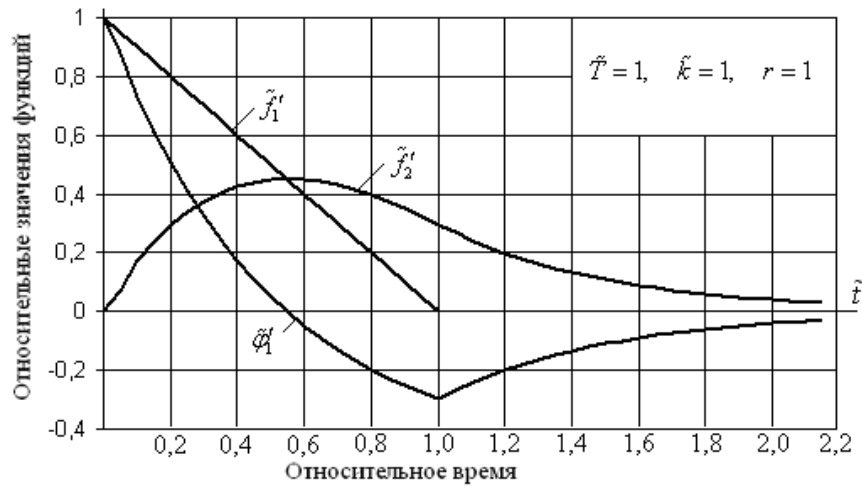


Рис. 3. Диаграммы падающей волны $f_1'(a_1t - 0)$ и формируемых на границе сопряжения прямой $\tilde{f}_2'(a_2t - 0)$ и обратной $\tilde{\varphi}_1'(a_1t + 0)$ волн при $\tilde{k} = 1$

Значение формируемой в стержне 2 прямой волны сжатия $\tilde{f}_2'(a_2t - 0)$ экспоненциально растет на интервале $0 \leq \tilde{t} \leq 0,55$ и при $\tilde{t} = 0,55$ достигает максимума. Максимальное значение $\tilde{f}_2'(a_2t - 0)$ меньше 1 и достигает величины 0,45. Отраженная волна $\tilde{\varphi}_1'(a_1t + 0)$ также изменяется по экспоненте. На интервале $0 \leq \tilde{t} \leq 0,55$ волна $\tilde{\varphi}_1'(a_1t + 0)$ представляет волну растяжения, а при $\tilde{t} > 0,55$ – волну сжатия.

При $\tilde{t} > 1$ падающая волна $f_1'(a_1t - 0) = 0$. Однако волна $\tilde{f}_2'(a_2t - 0)$ продолжает формироваться за счет потенциальной энергии, накопленной в упругом элементе. Волна $\tilde{\varphi}_1'(a_1t + 0)$ с этого момента уже не отраженная доля падающей волны, а формируемая упругим элементом волна сжатия. При $\tilde{t} \rightarrow \infty$ значение $\tilde{f}_2'(a_2t - 0) \rightarrow 0$. Длительность формируемых волн $\tilde{f}_2'(a_2t - 0)$ и $\tilde{\varphi}_1'(a_1t + 0)$ превышает длительность падающей волны.

На рис. 4 представлены диаграммы волн при жесткости $\tilde{k} = 2$.

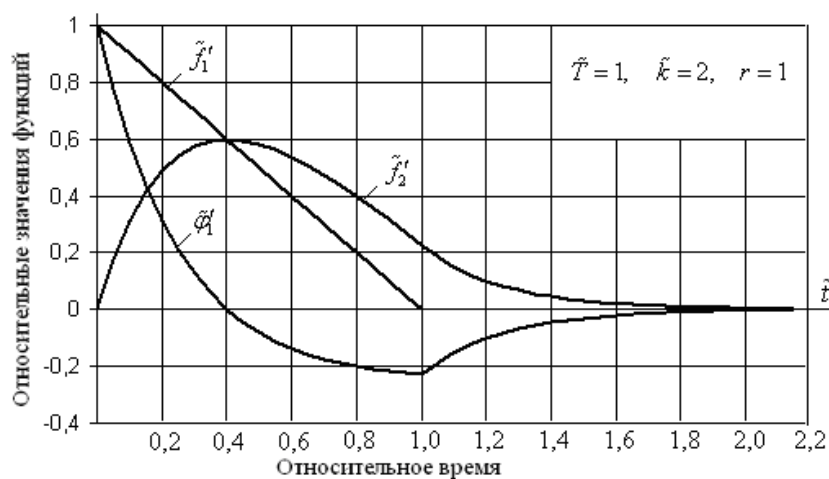


Рис. 4. Диаграммы падающей волны $f_1'(a_1t - 0)$ и формируемых на границе сопряжения прямой $\tilde{f}_2'(a_2t - 0)$ и обратной $\tilde{\varphi}_1'(a_1t + 0)$ волн при $\tilde{k} = 2$

С увеличением жесткости упругого элемента формируемая волна $\tilde{f}'_2(a_2t-0)$ приближается по параметрам к падающей волне $f'_1(a_1t-0)$. Увеличивается ее максимальное значение, сокращается длительность.

Анализируя результаты, приведенные в табл. 1, заметим, что трансформированная волна $\tilde{f}'_2(a_2t-0)$ при определенных значениях времени t/T достигает максимального значения.

Дифференцируя по ξ равенство (22), получим

$$\tilde{f}'_2(\xi) = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left[\left(1 + \frac{1}{a_2T\alpha} \right) \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha\xi} - \frac{1}{a_2T} \right], \quad 0 \leq \frac{\xi}{a_2T} \leq 1. \quad (24)$$

Полагаем, что при $\xi = \xi_*$ функция $\tilde{f}'_2(a_2t)$ достигает максимума. Следовательно, $\tilde{f}''_2(\xi_*) = 0$. Тогда из (24) имеем

$$0 = \left(1 + \frac{1}{a_2T\alpha} \right) \cdot \alpha \cdot \exp(-\alpha\xi_*) - \frac{1}{a_2T},$$

откуда после преобразований получим, что

$$\exp(\alpha\xi_*) = 1 + a_2T\alpha.$$

Логарифмируя левую и правую части равенства, находим

$$\alpha\xi_* = \ln(1+a_2T\alpha). \quad (25)$$

Учитываем, что

$$\alpha\xi_* = \frac{(r+1)}{r} \cdot \tilde{k} \cdot \tilde{T} \cdot \frac{t_*}{T}, \quad a_2T\alpha = \frac{(r+1) \cdot \tilde{T} \cdot \tilde{k}}{r}.$$

Тогда равенство (25) примет вид

$$\frac{(r+1)}{r} \cdot \tilde{k} \cdot \tilde{T} \cdot \frac{t_*}{T} = \ln \left[1 + \frac{(r+1) \cdot \tilde{T} \cdot \tilde{k}}{r} \right],$$

откуда следует, что

$$\frac{t_*}{T} = \frac{r}{(r+1) \cdot \tilde{k} \cdot \tilde{T}} \ln \left[1 + \frac{(r+1) \cdot \tilde{T} \cdot \tilde{k}}{r} \right]. \quad (26)$$

Если известно относительное время $\frac{t_*}{T}$ при заданных значениях r и \tilde{k} , когда трансформированная волна $\tilde{f}'_2(a_2t-0)$ достигает максимального значения, то по формуле (24) может быть определено максимальное значение $\tilde{f}'_2(\xi_*)$, если в эту формулу, вместо величины $\frac{t}{T}$ подставить значение $\frac{t_*}{T}$, найденное из (26):

$$\tilde{f}'_2(\xi_*) = \frac{2r}{r+1} \cdot \frac{a_1}{a_2} \left[\left(1 + \frac{r}{(r+1) \cdot \tilde{T} \cdot \tilde{k}} \right) \cdot \left(1 - \exp \left(-\frac{r+1}{r} \cdot \tilde{k} \cdot \tilde{T} \cdot \frac{t_*}{T} \right) \right) - \frac{t_*}{T} \right]. \quad (27)$$

Трансформация волны более существенна при меньших значениях жесткости упругого элемента \tilde{k} . Чем больше жесткость упругого элемента, тем трансформация волны менее существенна. Обратимся к формуле (22), представив ее в виде

$$\tilde{f}'_2(\xi) = \frac{2r}{r+1} \cdot \frac{a_1}{a_2} \left[\left(1 + \frac{r}{(r+1) \cdot \tilde{T} \cdot \tilde{k}} \right) \cdot \left(1 - \exp \left(-\frac{r+1}{r} \cdot \tilde{k} \cdot \tilde{T} \cdot \frac{t}{T} \right) \right) - \frac{t}{T} \right], \quad 0 \leq \frac{t}{T} \leq 1.$$

При $\tilde{k} \rightarrow \infty$ слагаемые $\frac{r}{(r+1) \cdot \tilde{T} \cdot \tilde{k}} \rightarrow 0$ и $\exp\left(-\frac{r+1}{r} \cdot \tilde{k} \cdot \tilde{T} \cdot \frac{t}{T}\right) \rightarrow 0$. Тогда

$$\tilde{f}'_2(\xi) \rightarrow \frac{2r}{r+1} \cdot \frac{a_1}{a_2} \left(1 - \frac{t}{T}\right), \quad 0 \leq \frac{t}{T} \leq 1. \quad (28)$$

Формула (28) описывает формируемую в стержне 2 волну деформации в случае идеального сопряжения стержней. В этом случае трансформированная волна будет иметь ту же форму, что и падающая волна. Трансформация волны возникает из-за разницы волновых сопротивлений стержней 1 и 2 ($r \neq 1$).

В случае идеального сопряжения стержней при $\tilde{k} \rightarrow \infty$, одинаковых свойств материала и $r = 1$ из (28) следует

$$\tilde{f}'_2(\xi) \rightarrow \left(1 - \frac{t}{T}\right), \quad 0 \leq \frac{t}{T} \leq 1.$$

Это означает, что прошедшая в стержень 2 волна деформации стремится полностью воспроизвести падающую волну.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов О.Д. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах / О.Д. Алимов, В.К. Манжосов, В.Э. Еремьянц. М.: Наука, 1985. 354 с.
2. Алпеева В.А. Возбуждение и преобразование волн деформаций в ударных системах машин для испытаний изделий: дис.... канд. техн. наук / В.А. Алпеева. Фрунзе: ФПИ, 1990. 281 с.
3. Еремьянц В.Э. Ударное нагружение оснащенных стержней / В.Э. Еремьянц, Ю.В. Невенчаный, Н.Г. Писаренко. Фрунзе: Илим, 1987. 165 с.
4. Манжосов В.К. Продольный удар / В.К. Манжосов. Ульяновск: 2006. 358 с.
5. Саруев Л.А. Распространение силовых импульсов по буровым штангам постоянного сечения / Л.А. Саруев, А.В. Шадрин // Динамика и прочность горных машин: сб. тр. 2-й Междунар. конф. Новосибирск: 2003. С. 64-69.
6. Шадрин А.В. Исследование закономерностей распространения силовых импульсов по колонне труб при бурении скважин: автореф. дис.... канд. техн. наук / А.В. Шадрин. Томск, 2007. 21 с.
7. Слестин А.П. Расчет параметров процесса передачи продольного ударного воздействия по стержням: автореф. дис.... канд. техн. наук / А.П. Слестин. Томск, 1990. 18 с.

Манжосов Владимир Кузьмич –
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Теоретическая
и прикладная механика» Ульяновского
государственного технического университета

Vladimir K. Manzhosov –
Dr.Sc., Professor,
Head: Department of Theoretical
and Applied Mechanics
Ulyanovsk State Technical University

Новикова Ирина Александровна –
старший преподаватель кафедры
«Измерительно-вычислительные комплексы»
Ульяновского государственного технического
университета

Irina A. Novikova –
Senior Lecturer,
Department of Measuring- and Computing Complexes
Ulyanovsk State Technical University

Статья поступила в редакцию 20.05.12, принята к опубликованию 06.09.12

ФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 537.86

В.В. Астахов, М.И. Балакин

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТИ В ГЕНЕРАТОРЕ ВАН ДЕР ПОЛЯ С ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Для генератора с запаздывающей обратной связью проведено исследование механизма формирования мультистабильности. Установлено, что развитая мультистабильность формируется в результате последовательности двух видов бифуркаций – суперкритической бифуркации Андронова-Хопфа и субкритической бифуркации Неймарка-Сакера. При вариации управляющих параметров неподвижная точка в фазовом пространстве многократно претерпевает суперкритическую бифуркацию Андронова-Хопфа, что ведет к увеличению числа седловых циклов. Устойчивость они приобретают после ряда субкритических бифуркаций Неймарка-Сакера.

Системы с запаздыванием, автоколебания, бифуркации, мультистабильность

V.V. Astakhov, M.I. Balakin

MULTISTABILITY FORMATION MECHANISM IN VAN DER POL GENERATOR WITH TIME-DELAYED FEEDBACK

Multistability formation mechanism in van der Pol generator with time-delayed feedback is studied. It is established that the developed multistability is formed through a sequence of two types of bifurcations – supercritical Andronov-Hopf bifurcation and subcritical Neimark-Sacker bifurcation. In the phase space the fixed point repeatedly undergoes supercritical Andronov-Hopf bifurcation as a result of controlling parameters variation which leads to the increase in a number of saddle cycles. The limit cycle stability is acquired after a number of subcritical Neimark-Sacker bifurcations.

Time-delayed systems, self-oscillations, bifurcations, multistability

Генератор ван дер Поля с запаздывающей обратной связью является одной из базовых моделей теории нелинейных колебаний [1]. Исследованию и описанию осциллятора ван дер Поля с задержкой посвящено большое количество статей и монографий [2-4]. Хорошо известно, что в автоколебательных системах с запаздыванием мультистабильность является типичным явлением [5]. Уже при небольшой надкритичности по параметру возбуждения в фазовом пространстве может наблюдаться большое число сосуществующих устойчивых предельных циклов. Однако вопрос о бифуркационном механизме формирования мультистабильности в таких системах остается открытым. В данной работе проведено исследование механизма формирования мультистабильности на примере генератора ван дер Поля с запаздывающей обратной связью. Установлено, что развитая мультистабильность формируется в результате двух видов бифуркаций – суперкритической бифуркации Андронова-Хопфа и субкритической бифуркации Неймарка-Сакера. При вариации управляющих параметров неподвижная точка в фазовом пространстве многократно претерпевает суперкритическую бифуркацию Андронова-Хопфа, что ведет к увеличению числа седловых циклов. После первой бифуркации рождается устойчивый предельный цикл, а после каждой последующей – седловой предельный цикл с двумерным, четырехмерным, шестимерным, восьмимерным и т.д. неустойчивыми многообразиями. Устойчивость они приобретают, соответственно, после одной, двух, четырех, шести и т.д. субкритических бифуркаций Неймарка-Сакера.

Генератор ван дер Поля с запаздыванием будем рассматривать в виде

$$\begin{aligned} \dot{x}(\tau) &= y(\tau), \\ \dot{y}(\tau) &= -\lambda y(\tau) + [\varepsilon - x^2(\tau - \tau_d)]y(\tau - \tau_d) - x(\tau), \end{aligned} \quad (1)$$

где $x(\tau)$, $y(\tau)$ – динамические переменные, τ_d – время запаздывания, λ – параметр диссипации, ε – параметр подкачки. Состояние равновесия системы определяется из условия равенства нулю производных динамических переменных ($\dot{x}=0, \dot{y}=0$), кроме того, неизменность состояния равновесия во времени приводит к равенству $x(\tau) = x(\tau - \tau_d)$, $y(\tau) = y(\tau - \tau_d)$. В результате получаем, что в фазовом пространстве бесконечной размерности существует единственная неподвижная точка в начале координат.

Для исследования условия устойчивости состояния равновесия, используя стандартные методы [1], запишем характеристическое уравнение

$$\rho^2 + [\lambda - \varepsilon e^{-\rho \tau_d}] \rho + 1 = 0, \quad (2)$$

из которого, применяя метод D-разбиений [6], несложно получить систему уравнений

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &= \lambda^2 + \frac{(1 - \omega^2)^2}{\omega^2}, \\ \tau_d &= \frac{1}{\omega} \operatorname{arctg}\left(\frac{1 - \omega^2}{\lambda \omega}\right) + \frac{k\pi}{\omega}, \end{aligned} \quad (3)$$

которая определяет в пространстве параметров границы областей возбуждения автоколебаний.

В случае $\tau_d = 0$ существует одна область возбуждения автоколебаний ($k = 0$) с частотой $\omega = 1$, граница которой определяется соотношением $\varepsilon = \lambda$. При введении задержки $\tau_d > 0$, из уравнений (3) следует, что возбуждение автоколебаний на частоте $\omega \cong 1$ происходит на линии $\varepsilon = \lambda$ при ($k = 0, \tau_d = 0$), ($k = 1, \tau_d = \pi$), ($k = 2, \tau_d = 2\pi$) и т.д. При пересечении указанных бифуркационных точек происходит мягкое рождение устойчивых предельных циклов с одинаковыми периодами $T \cong 2\pi$. Фиксируя коэффициент диссипации $\lambda = 3$ и меняя в уравнениях (3) ω от $-\infty$ до $+\infty$, получим семейство линий, отвечающих различным k , при пересечении которых неподвижная точка P претерпевает бифуркации.

На рис. 1 на плоскости параметров ($\varepsilon - \tau_d$) построены линии бифуркационных значений для различных k ($k = 0, 2, 4, 6$), которые обозначены $l_{ah}^1, l_{ah}^2, l_{ah}^3, l_{ah}^4$, соответственно. Линии, построенные методом D-разбиения, полностью совпадают с бифуркационными линиями, полученными с помощью пакета программ DDE-BIFTOOL [7]. Кроме линий бифуркационных значений для неподвижной точки P , на рис. 1 построены бифуркационные линии l_{ns}^i предельных циклов C_i ($i = 1, 2, 3, 4$), ограничивающие области их устойчивости.

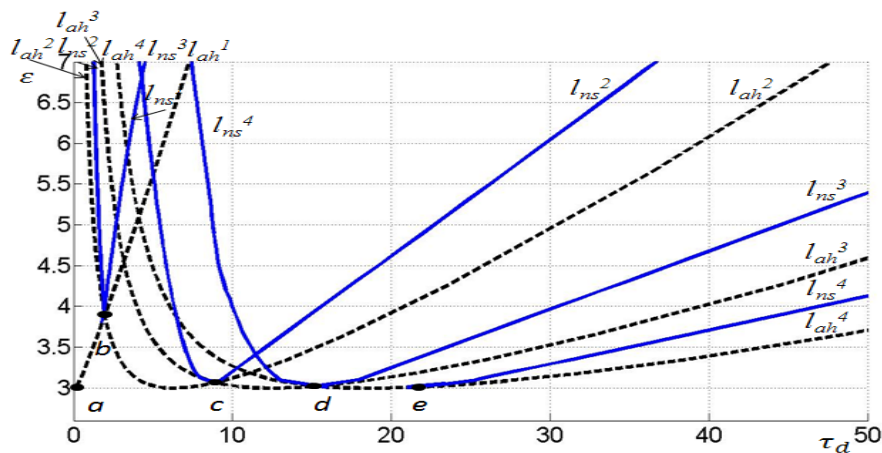


Рис. 1. Линии бифуркационных значений неподвижной точки и предельных циклов. $\lambda = 3$

Каждая из бифуркационных линий l_{ah}^i имеет точку минимума, которой опирается на прямую $\varepsilon = \lambda$. Граница мягкого возбуждения автоколебаний состоит из отрезков ab, bc, cd, de , принадлежащих бифуркационным линиям $l_{ah}^1, l_{ah}^2, l_{ah}^3, l_{ah}^4$, соответственно. На этих отрезках действительные части старшей пары комплексно сопряженных собственных значений неподвижной точки P переходят через ноль от отрицательных значений к положительным. Состояние равновесия из устойчивого фокуса превращается в седло-фокус и в его окрестности рождается устойчивый предельный цикл, отвечающий квазигармоническим автоколебаниям, радиус которого растет пропорционально корню из надкритичности. Происходит суперкритическая бифуркация Андронова-Хопфа. Период автоколебаний T вблизи порога возбуждения существенным образом зависит от времени задержки в кольце обратной связи. На рис. 2 представлен график зависимости T от τ_d . Период определялся по мнимой части собственных значений неподвижной точки вдоль бифуркационных линий и проверялся по временным реализациям вблизи порога возбуждения автоколебаний. Наиболее сильная зависимость T от τ_d наблюдается на участке ab . Период увеличивается примерно в 3 раза – от ≈ 6.28 до ≈ 19.4 . С увеличением времени задержки при переходе через точку b период автоколебаний резко уменьшается до значения ≈ 2.64 , после чего на участке bc плавно нарастает до ≈ 9.13 . Из рис. 2 видно, что с ростом времени задержки на каждом из участков границы мягкого возбуждения автоколебаний происходит плавное увеличение периода, и его резкое уменьшение при переходе через крайние точки отрезков: при пересечении точек b, c, d, e . По мере увеличения τ_d , разность между максимальным и минимальным значениями уменьшается, минимальные и максимальные значения приближаются к $T = 2\pi$.

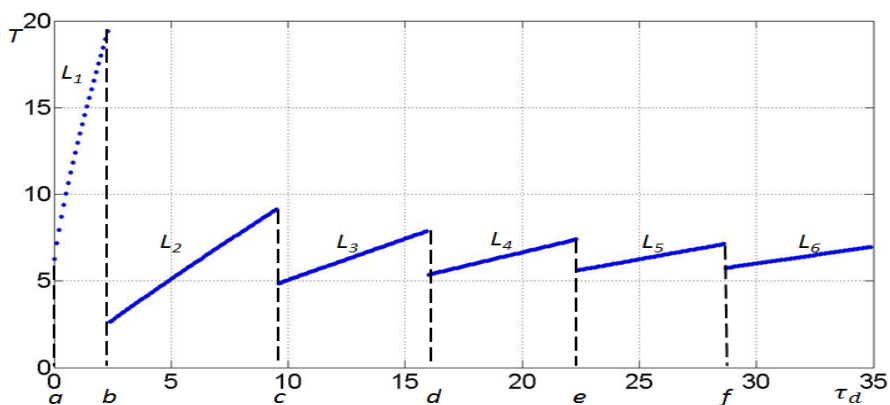


Рис. 2. Зависимость периода колебаний вблизи порога возбуждения от времени запаздывания

В отличие от осциллятора ван дер Поля, где неподвижная точка претерпевает только одну бифуркацию рождения цикла, в генераторе с запаздывающей обратной связью может наблюдаться целая серия бифуркаций Андронова-Хопфа, что ведет к формированию развитой мультистабильности.

Проследим за бифуркациями неподвижной точки P в зависимости от τ_d при $\varepsilon = 3.5$. На рис. 3 представлена бифуркационная диаграмма для неподвижной точки P и предельных циклов C_1, C_2, C_3, C_4 . В интервале между b_1^1 и b_1^2 , в фазовом пространстве имеется устойчивая неподвижная т. P . С уменьшением τ_d при пересечении b_1^1 действительные части старшей пары собственных значений переходят через ноль из отрицательной области в положительную. Точка P становится седловой, в ее окрестности рождается устойчивый предельный цикл C_1 , радиус которого растет пропорционально корню из надкритичности. Происходит суперкритическая бифуркация Андронова-Хопфа. При дальнейшем уменьшении τ_d до нуля никаких бифуркаций не происходит. С ростом τ_d при пересечении b_1^2 т. P претерпевает суперкритическую бифуркацию Андронова-Хопфа, в ее окрестности рождается устойчивый предельный цикл C_2 . Седловая т. P с двумерным неустойчивым многообразием при пересечении b_1^3 демонстрирует еще одну бифуркацию Андронова-Хопфа, еще одна пара комплексно сопряженных собственных значений переходит через ноль. Точка P превращается в седло с четырехмерным неустойчивым многообразием, а в ее окрестности рождается седловой

цикл C_3 с двумерным неустойчивым многообразием. При пересечении b_1^4 появляется еще один седловой цикл (C_4) с четырехмерным неустойчивым многообразием. Структура фазового пространства существенно усложняется, в окрестности неподвижной точки рождаются новые и новые седловые предельные циклы. При движении по плоскости управляющих параметров каждый из них в результате определенных бифуркаций может стать устойчивым. Например, седловой цикл C_3 выше b_1^3 рождается с двумерным неустойчивым многообразием. При пересечении точки b_2^3 он претерпевает субкритическую бифуркацию Неймарка-Сакера и становится устойчивым. Седловой цикл C_4 за точкой b_1^4 имеет четырехмерное неустойчивое многообразие. С увеличением параметра τ_d он приобретает устойчивость после двух субкритических бифуркаций Неймарка-Сакера. Выше точки b_2^4 он превращается в седловой цикл с двумерным неустойчивым многообразием и при пересечении точки b_3^4 становится устойчивым.

Рождение устойчивых сосуществующих предельных циклов в фазовом пространстве системы происходит и при уменьшении времени задержки τ_d в цепи обратной связи. На плоскости управляющих параметров (рис. 1) со стороны больших задержек рождение C_2 из неподвижной точки происходит на правой ветви линии суперкритической бифуркации Андронова-Хопфа l_{ah}^2 . По мере уменьшения τ_d этот цикл становится устойчивым при пересечении бифуркационной линии l_{ns}^2 . Однако, прежде чем стать устойчивым, при движении по параметрам между линиями l_{ah}^2 и l_{ns}^2 он претерпевает целый каскад бифуркаций. Они представлены точками на диаграмме рис. 3. При b_6^2 из неподвижной точки рождается седловой предельный цикл с 8-мерным неустойчивым многообразием. За точкой b_5^2 после субкритической бифуркации Неймарка-Сакера он превращается в седловой цикл с 6-мерным неустойчивым многообразием, затем с 4-мерным и 2-мерным в результате таких же бифуркаций в точках b_4^2 и b_3^2 . Цикл C_2 становится устойчивым только после четвертой бифуркации в точки b_2^2 . Цикл C_3 , который также рождается из т. P , приобретает устойчивость через последовательность из восьми субкритических бифуркаций Неймарка-Сакера, а цикл C_4 – через последовательность из двенадцати бифуркаций.

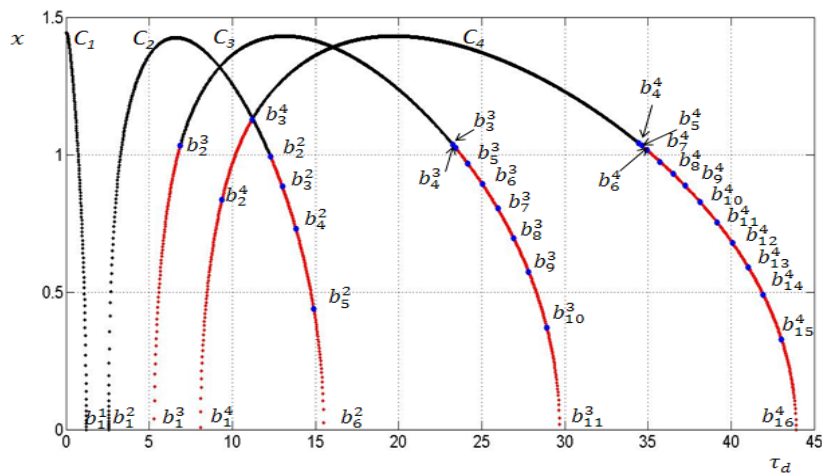


Рис. 3. Бифуркационная диаграмма для неподвижной точки P и предельных циклов C_1, C_2, C_3, C_4 в зависимости от параметра τ_d

Итак, в данной работе для генератора ван дер Поля с запаздывающей обратной связью проведено исследование механизма формирования мультистабильности. Установлено, что развитая мультистабильность формируется в результате последовательности двух видов бифуркаций – суперкритической бифуркации Андронова-Хопфа и субкритической бифуркации Неймарка-Сакера. При вариации управляющих параметров неподвижная точка в фазовом пространстве многократно претерпевает суперкритическую бифуркацию Андронова-Хопфа, что ведет к увеличению числа седловых циклов.

После первой бифуркации рождается устойчивый предельный цикл, а после каждой последующей – седловой предельный цикл с двумерным, четырехмерным, шестимерным, восьмимерным и т.д. неустойчивыми многообразиями. Устойчивость они приобретают, соответственно, после одной, двух, четырех, шести и т.д. субкритических бифуркаций Неймарка-Сакера. Границы бассейнов притяжения сосуществующих устойчивых предельных циклов формируются семейством вложенных седловых двумерных торов, окружающих устойчивые предельные циклы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-02-01298-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рубаник В.П. Колебания квазилинейных систем с запаздыванием / В.П. Рубаник. М.: Наука, 1969. 287 с.
2. Кузнецов С.П. Сложная динамика генераторов с запаздывающей обратной связью / С.П. Кузнецов // Изв. вузов. Радиофизика. 1982. Т.25, № 12. С. 1410-1428.
3. Wirkus S.A. Dynamics of two coupled van der Pol oscillators with delay coupling / S.A. Wirkus, R.H. Rand // Proceedings of ASME Design Engineering Technical, New York, 1997. Am.Soc.Mech.Eng.
4. Рыскин Н.М. Сложная динамика простой модели распределенной автоколебательной системы с запаздыванием / Н.М. Рыскин, А.М. Шигаев // ЖТФ. 2002. Т. 72. Вып. 7.
5. Yanchuk S. Delay and periodicity / S. Yanchuk, P. Perlikowski // Phys. Rev. E. 2009. V. 79.
6. Неймарк Ю.И. D-разбиение пространства квазиполиномов (к устойчивости линеаризованных распределенных систем) / Ю.И. Неймарк // Прикладная математика и механика. 1949. Т. 13. Вып. 4.
7. Engelborghs K. Numerical bifurcation analysis of delay differential equations using DDE-BIFTOOL / K. Engelborghs, T. Luzyanina, D. Roose. ACM Trans. Math. Softw. 2002. 28 (1). P. 1-21.

Астахов Владимир Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vladimir V. Astakhov – Dr. Sc., Professor, Head: Department of Radio Engineering, Gagarin Saratov State Technical University

Балакин Максим Игоревич – аспирант кафедры «Радиотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Maksim I. Balakin – Postgraduate, Department of Radio Engineering, Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 25.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 621.373

И.Ш. Бахтеев

УВЕЛИЧЕНИЕ ПОЛОСЫ УСИЛИВАЕМЫХ ЧАСТОТ КОМПЛЕКСИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА НА СИНХРОНИЗИРОВАННОМ МАГНЕТРОНЕ, РАБОТАЮЩЕГО В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Рассмотрена методика увеличения полосы усиления магнетрона Кадиапазона, синхронизированного внешним сигналом и работающего в составе комплексированного устройства. При ее использовании определяются параметры диафрагмы, включаемой между магнетроном и ферритовым циркулятором, что позволяет увеличить полосу усиления устройства в 2-4 раза.

Синхронизированный внешним сигналом магнетрон, циркулятор, КСВН, рассогласователь, диафрагма

I.Sh. Bakhteev

EXTENSION OF THE LOCKING BANDWIDTH COMPLEX DEVICE TO INJECTION-LOCKED MAGNETRON OPERATING IN THE MILLIMETER RANGE

The paper presents an extension method for the locking bandwidth of the injection-locked Ka-band magnetron working under a complex device. The parameters of the diaphragm included between the magnetron and ferrite circulator have been defined which allows extension of the device bandwidth by 2-4 times.

Injection-locked magnetron, circulator, VSWR, mismatched, diaphragm

В современных системах связи миллиметрового диапазона находят применение комплексированные устройства на синхронизированном магнетроне, обеспечивающие усиление сигнала в полосе частот. В его составе, кроме магнетрона, входит ферритовый циркулятор. Одной из основных задач, решаемых при создании таких устройств, является увеличение полосы усиливаемых частот. В настоящей работе рассмотрена одна из вариантов решения этой задачи.

При оценке полосы усиливаемых частот магнетроном, синхронизированным внешним сигналом, часто используется соотношение [1]

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{2}{Q_{\text{вн}} \sqrt{K_y}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{вн}}$ – внесенная добротность, K_y – коэффициент усиления.

Из этого соотношения следует возможность увеличения полосы усиливаемых частот за счет уменьшения величины внесенной добротности. Однако, как показывает опыт, при малых величинах $Q_{\text{вн}}$ магнетронов миллиметрового диапазона существенно снижается устойчивость их работы. Поэтому рассматривается возможность увеличения полосы усиливаемых частот таких магнетронов, синхронизированных внешним сигналом, за счет увеличения КСВн нагрузки на выходе прибора. Тем более, положительный результат в этом направлении получен в [2] с магнетроном, работающим в см-диапазоне.

Конструктивная реализация увеличения полосы усиливаемых частот комплексированного устройства на базе синхронизированного магнетрона при увеличении КСВн нагрузки выражается введением между прибором и циркулятором диафрагмы, геометрические параметры которой обеспечивают необходимые значения КСВн и фазы коэффициента отражения. В настоящей работе рассмотрена методика экспериментального определения значений этих параметров, уменьшающая время их поиска.

Методика предполагает подбор значений КСВн и фазы коэффициента отражения диафрагмы в два этапа.

На первом этапе определяется фаза коэффициента отражения диафрагмы. С этой целью между магнетроном, работающим в генераторном режиме, и циркулятором включается рассогласователь. Он представляет собой волновод с перемещаемым вдоль его длины зондом, глубина погружения которого регулируется. Такой рассогласователь, внешний вид, которого представлен на рис. 1, обеспечивает плавную регулировку значения КСВн в интервале от 1 до 10 и круговое изменение фазы. При изменении положения зонда, обеспечивающего значение КСВн в пределах 2-3, фиксируется фаза, при которой происходит резкое изменение генерируемой частоты. Типичная зависимость генерируемой частоты от фазы приведена на рис. 2.

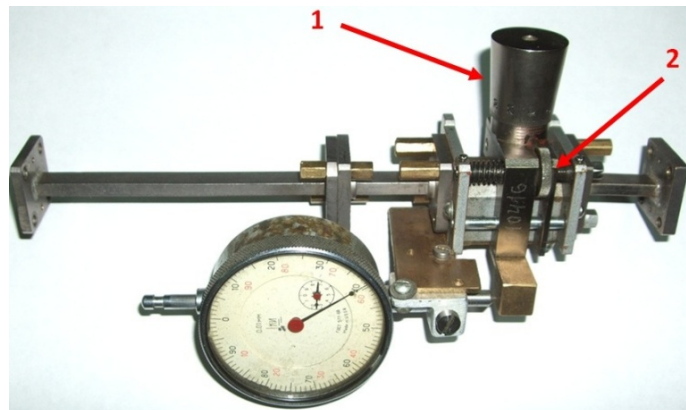


Рис. 1. Внешний вид рассогласователя: 1 – регулировка КСВ; 2 – регулировка фазы

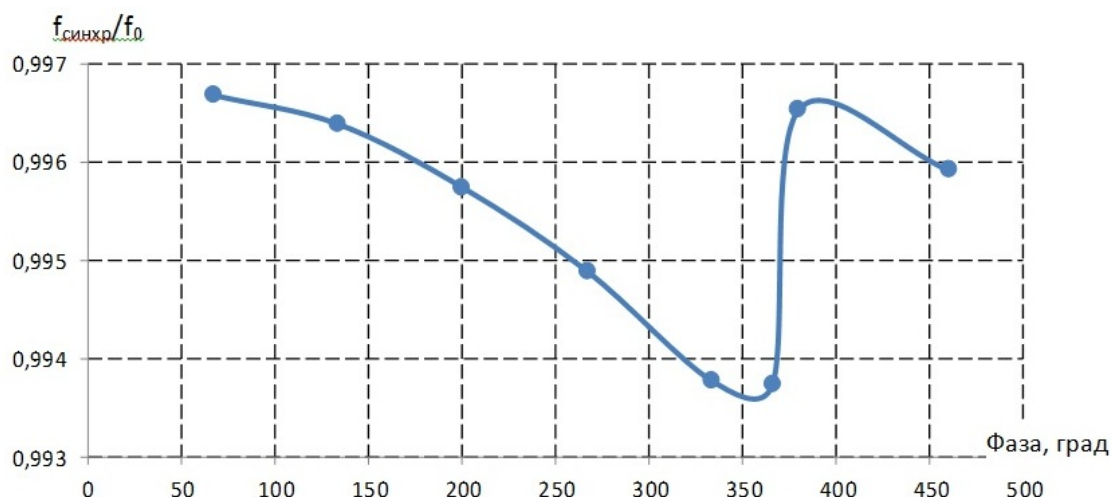


Рис. 2. Типичный вид измеренной зависимости генерируемой частоты от фазы коэффициента отражения зонда рассогласователя

На втором этапе осуществляется подбор значения КСВн. Рассогласователь заменяется на диафрагму, помещаемую между циркулятором и магнетроном, работающим в режиме синхронизации. Конструктивно диафрагма состоит из двух пластин, в одной из которых размеры окна совпадают с поперечным сечением волновода. От толщины этой пластины зависит фаза коэффициента отражения диафрагмы. Она определяется по положению зонда, при котором происходит резкое изменение частоты (по результатам измерений первого этапа) с учетом частоты.

Размерами окна второй пластины определяется значение КСВн. Наибольшая полоса синхронизации достигалась при подборе размеров окна таких пластин.

На рис. 3 показано комплексированное устройство с диафрагмой, параметры которой получены по рассмотренной выше методике. Выходная импульсная мощность используемого в нем магнетрона 8-мм диапазона равна 1280 Вт при скважности 500 и анодном токе 3,5 А.

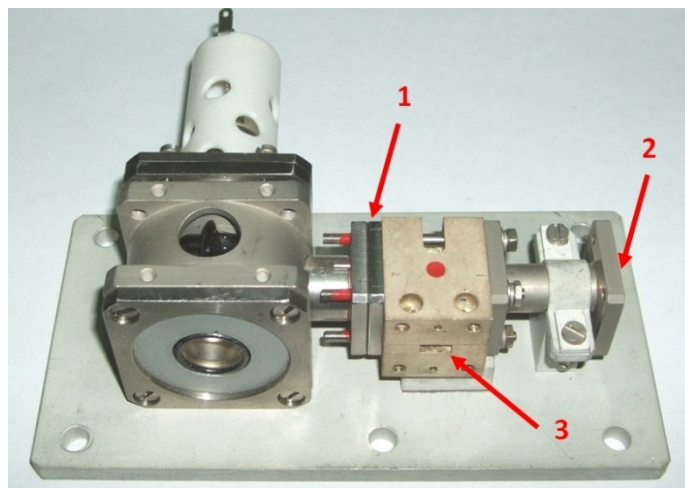


Рис. 3. Общий вид комплексированного устройства: 1 – диафрагма; 2 – ВЧ вход устройства; 3 – ВЧ выход устройства

На рис. 4 приведены измеренные зависимости выходной мощности устройства при входной импульсной мощности 70 Вт. Данные получены для трех случаев: 1 – при отсутствии диафрагмы; 2 – при наличии рассогласователя с подобранными положением зонда и глубиной его погружения; 3 – при наличии диафрагмы с подобранными значениями КСВн и фазы коэффициента отражения. Полоса усиливаемых частот для этих случаев составила 1 – 0,12 %, 2 – 0,68 % и 3 – 0,70 %.

Таким образом, введение в конструкцию комплексированного устройства на базе синхронизированного магнетрона миллиметрового диапазона между прибором и ферритовым циркулятором диафрагмы, параметры которой подобраны при использовании рассмотренной методики, позволяет в несколько раз увеличить полосу усиливаемых частот. При этом методика существенно сокращает объем выполняемой работы по подбору параметров диафрагмы.

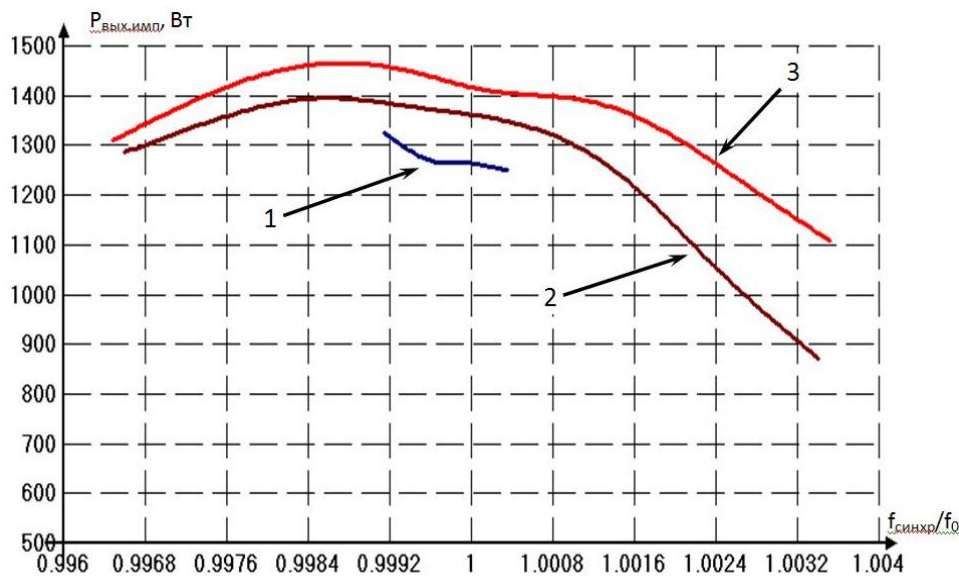


Рис. 4. Экспериментальные частотные зависимости выходной мощности устройства:
1 – в отсутствии диафрагмы; 2 – при наличии рассогласователя с подобранным положением зонда с КСВн = 2,75; 3 – при наличии диафрагмы с подобранными значениями параметров

ЛИТЕРАТУРА

1. Каргин А.Н. Миниатюрные синхронизированные магнетроны для систем связи / А.Н. Каргин // Радиотехника. 2000. № 2. С. 62-66.
2. Трифонов Ю.М. О синхронизации генератора СВЧ, работающего на передающий тракт, содержащий отражающие неоднородности / Ю.М. Трифонов // Вестник Московского университета. Сер. III. Физика, астрономия. 1963. № 3. С. 26-31.

Бахтеев Игорь Шамильевич –
аспирант кафедры «Электротехника
и электроника» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Igor Sh. Bakhteev –
Postgraduate
Department of Electrical Engineering and Electronics
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 03.05.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 621.385.6

И.Ш. Бахтеев, М.А. Фурсаев

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ШИРИНЫ ПОЛОСЫ СИНХРОНИЗАЦИИ МАГНЕТРОНОВ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Показано, что из-за дублетного характера видов колебаний, являющихся рабочими в магнетронах миллиметрового диапазона, не представляется возможным предсказать ширину полосы синхронизации этих приборов на этапе «холодных» измерений. Такой прогноз приходится осуществлять по результатам измерения затягивания частоты в генераторном режиме.

Магнетрон, дублет, вид колебаний, ширина полосы синхронизации, внешняя добротность, затягивание частоты

I.Sh. Bakhteev, M.A. Fursaev

PREDICTION OF LOCKING BANDWIDTH THE MILLIMETER RANGE MAGNETRON

It is shown that due to the doublet type of the oscillation mode operating within the magnetrons millimeter range it is hardly possible to predict the locking bandwidth of these devices at the stage of «cold» measurements. Such forecast has to be performed in

accordance with the measurements data relating the pulling frequency in the oscillation mode.

Magnetron, doublet, oscillation mode, locking bandwidth, external Q factor, pulling frequency

С целью увеличения размеров пространства взаимодействия магнетрона миллиметрового диапазона проектируются с учетом работы на первой отрицательной пространственной гармонике вида колебаний со сдвигом фазы на ячейку замедляющей системы $\varphi \leq 90^\circ$ [1]. Такие виды колебаний являются дублетными, причем взаимодействие электронного потока происходит с ВЧ полем одного из дублетов.

На рис. 1 приведена осциллограмма резонансной кривой дублетного вида колебаний магнетрона 8-мм диапазона, где цифрами 1 и 2 отмечены дублеты. Различие их резонансных частот незначительно (180 МГц).

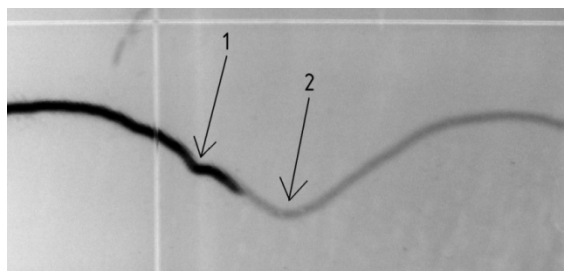


Рис. 1. Резонансная кривая магнетрона, работающего на минус первой пространственной гармонике

В этом, а также в ряде других случаев из-за дублетного характера вида колебаний по его резонансной кривой не представляется возможным определение величины внешней добротности «взаимодействующего» дублета, что не позволяет прогнозировать ширину полосы синхронизации магнетронов миллиметрового диапазона на этапе «холодных» измерений, как осуществляется в магнетронах, работающих на π -виде колебаний.

Действительно, при оценке ширины полосы синхронизации магнетронов, работающих на π -виде, используется соотношение [2]

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{2}{Q_{\text{вн}} \sqrt{K}}, \quad (1)$$

$$K = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$$

где K – коэффициент усиления в режиме синхронизации; f_0 – резонансная частота рабочего колебания; $Q_{\text{вн}}$ – внешняя добротность, определяемая на этапе «холодных» измерений.

Величина внешней добротности магнетрона может быть определена по результатам измерения затягивания частоты прибора, работающего в генераторном режиме. Для этой цели может быть использовано соотношение [3]:

$$Q_{\text{вн.гор}} = \frac{f_0(\rho^2 - 1)}{2F_3 \cdot \rho}, \quad (2)$$

где F_3 – максимальное изменение генерируемой частоты при круговом изменении фазы коэффициента отражения нагрузки с КСВн, равным ρ . С учетом (1) и (2) можно получить соотношение, позволяющее прогнозировать ширину полосы синхронизации магнетрона по результатам его испытаний в генераторном режиме

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{F_3}{f_0} \frac{4 \cdot \rho}{(\rho^2 - 1)\sqrt{K}} \quad (3)$$

Приведенные выше соображения подтверждаются экспериментальными данными, представленными в табл. 1. Эти данные получены на трех образцах магнетрона 8-мм диапазона с различной величиной внешней добротности, работающих на первой отрицательной пространственной гармонике. Анодный блок магнетрона содержит 16 ячеек, величина сдвига фаз на ячейку замедляющей системы $\varphi = 67,5^\circ$.

Зависимости генерируемых частот трех образцов магнетрона при изменении фазы коэффициента отражения нагрузки с КСВн = 2,4 приведены на рис. 2.

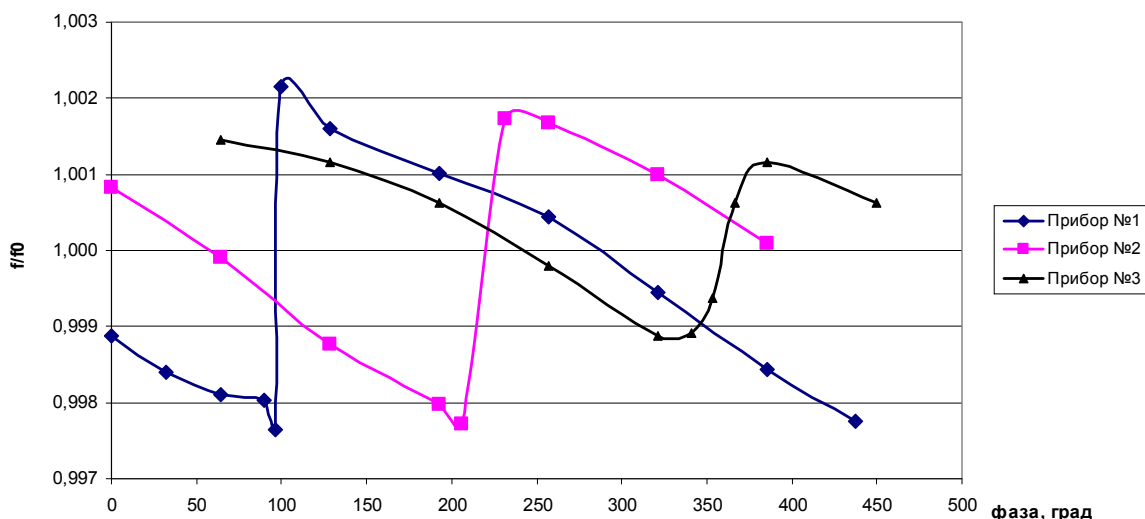


Рис. 2. Кривые затягивания при КСВ=2,4

В таблице для этих образцов представлены:

- 1) величина внешней добротности, измеренная по резонансной кривой на «холодных» измерениях ($Q_{\text{вн.хол}}$);
- 2) измеренная величина затягивания частоты (F_3);
- 3) величина внешней добротности, рассчитанная с использованием соотношения (2) ($Q_{\text{вн.гор}}$);
- 4) данные расчета ширины полосы синхронизации по соотношению (1) с использованием величины внешней добротности, измеренной по резонансной кривой ($\Delta f_{\text{хол}}$);
- 5) данные расчета ширины полосы синхронизации по соотношению (3) с использованием величины внешней добротности, вычисленной по формуле (2) ($\Delta f_{\text{гор}}$);
- 6) ширина полосы синхронизации, измеренная экспериментально, равная ($\Delta f_{\text{эксп}}$).

Экспериментальные и теоретические параметры магнетронов

№ прибора	$Q_{\text{вн.хол}}$	F_3 , МГц	$Q_{\text{вн.гор}}$	$\Delta f_{\text{холл}}/f_0$, %	$\Delta f_{\text{гор}}/f_0$, %	$\Delta f_{\text{эксп}}/f_0$, %
№1	60	153	220	1,259	0,344	0,359
№2	38	152	222	0,850	0,147	0,121
№3	66	87	388	0,659	0,112	0,112

Коэффициент усиления для расчетов по формуле (1) и (3) брался из полученного экспериментального значения при синхронизации.

При исследовании в режиме синхронизации на выходе магнетронов устанавливался ферритовый циркулятор. Расчет по формуле (1) и (3) проводился для величины коэффициента усиления, при котором получено экспериментальное значение ширины полосы синхронизации. Как видно, экспериментальные величины ширины полосы синхронизации и величины, рассчитанные с учетом значения внешней добротности, определенной по измеренной величине затягивания частоты, весьма близки.

Таким образом, результаты «холодных» измерений далеко не всегда позволяют дать прогноз ширины полосы синхронизации, магнетронов миллиметрового диапазона. Такой прогноз целесообразно проводить при использовании данных измерения затягивания частоты приборов в генераторном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

3. Касаткин Л.В. Электровакуумные приборы диапазона миллиметровых волн / В.Д. Ерёмка, В.Д. Науменко. Севастополь: Вебер, 2007. 252 с.
4. Каргин А.Н. Миниатюрные синхронизированные магнетроны для систем связи / А.Н. Каргин // Радиотехника. 2000. № 2. С. 62-66.
5. Лебедев И.В. Техника и приборы сверхвысоких частот. Техника СВЧ: в 2 т. / И.В. Лебедев. 2-е изд. М.: Высш. шк., 1972. Т. 2. 376 с.

Бахтеев Игорь Шамильевич – аспирант кафедры «Электротехника и электроника» Саратовского государственного технического университета

Igor Sh. Bakhteev – Postgraduate
Department of Electrical Engineering and Electronics,
Gagarin Saratov State Technical University

Фурсаев Михаил Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Электротехника и электроника» Саратовского государственного технического университета

Mikhail A. Fursaev – Dr.Sc., Professor
Department of Electrical Engineering and Electronics,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 12.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 621.316

Е.В. Мазеев, В.В. Муллин

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИН ТОКА В ВАКУУМНЫХ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ КАМЕРАХ ПОЛЮСА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Проведен анализ величины различия токов дугогасительных камер высоковольтного выключателя. Показана целесообразность построения такого выключателя на базе камер с аксиальным магнитным полем.

Полюс выключателя, дугогасительная камера, емкость «шина-земля», различие токов

E.V. Maseev, V.V. Mullin

EVALUATION OF THE CURRENTS WITHIN THE VACUUM INTERRUPTERS OPERATING UNDER HIGH-VOLTAGE CIRCUIT BREAKER POLE

Variations of current in high-voltage vacuum interrupters is analyzed. Advantages of high-voltage circuit breakers using vacuum interrupters with vacuum arcs controlled by axial magnetic field are highlighted.

Circuit breaker pole, vacuum interrupter, bus-to-ground capacity, variation of currents

Выключатели, предназначенные для коммутации цепей переменного тока с напряжением более 100 кВ, строятся на базе последовательно включенных вакуумных дугогасительных камер (ВДК) [1]. Камеры входят в состав полюса, в котором они соединены медными шинами. Этим обусловлено появление емкостей «шина-земля», вследствие чего ВДК в одном полюсе находятся в разных условиях, поскольку отличаются величинами протекающих по ним токов.

Ниже проводится оценка различия токов, протекающих в двух ВДК в составе одного полюса. Полюса с таким числом ВДК получили наибольшее применение.

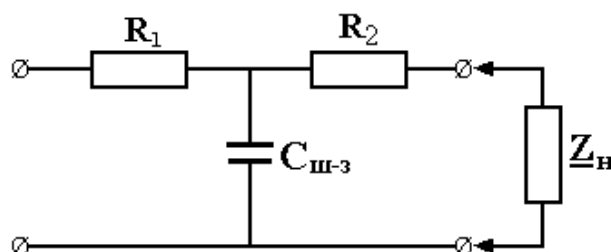


Рис. 1. Эквивалентная схема полюса выключателя на ВДК

При оценке используется эквивалентная схема, приведенная на рис. 1. Как видно, две ВДК (резисторы R_1 и R_2) и емкость «шина-земля» (конденсатор $C_{ш-з}$) отражены в виде Т-образного четырехполюсника, нагруженного на сопротивление $Z_n = R_n + jX_n$.

Отношение токов, протекающих в ВДК полюса, можно рассматривать как коэффициент передачи по току четырехполюсника рис. 1. Величина этого коэффициента определяется соотношением [2]

$$K_1 = (\underline{A}_{21}Z_H + \underline{A}_{22})^{-1}, \quad (1)$$

где \underline{A}_{21} и \underline{A}_{22} – элементы матрицы передачи рассматриваемого четырехполюсника. Откуда отношение величин токов ВДК полюса выключателя

$$\frac{I_2}{I_1} = \left[\left(1 + \frac{X_H}{X_C} \right)^2 + \left(\frac{R_H + R_2}{X_C} \right)^2 \right]^{-0,5}, \quad (2)$$

где R_2 – суммарное сопротивление ВДК на выходе полюса и половины шины, соединяющей ВДК в полюсе, X_C – сопротивление емкости «шина-земля».

На рис. 2 приведены результаты расчета по соотношению (2), иллюстрирующие зависимость различия величин токов ВДК в полюсе от сопротивления нагрузки и ее характера. Эти результаты соответствуют случаям, когда контакты ВДК замкнуты и когда между ними горит дуга. Из расчета следует, что при активном сопротивлении нагрузки и индуктивном характере его реактивной компоненты величина тока в ВДК на выходе полюса меньше тока ВДК на его входе. При емкостном характере реактивного сопротивления нагрузки возможны случаи, когда ток в ВДК на выходе полюса будет превышать ток ВДК на его входе. Из данных расчета также следует увеличение различия токов ВДК при увеличении емкости «шина-земля». Как известно, величина емкости «шина-земля» при горизонтальном варианте конструкции полюса меньше, чем при вертикальном. Следовательно, в случае горизонтальной конструкции полюса различие токов ВДК в его составе будет меньше.

При оценке различия токов в ВДК в случае горения дуги между разведенными контактами величина сопротивления R_2 в соотношении (2) должна определяться с учетом характера зависимости напряжения от тока вакуумной дуги. Типичный вид вольт-амперной характеристики вакуумной дуги представлен на рис. 3. Вакуумная дуга может пребывать в двух формах: диффузной и сжатой [3]. Диффузной форме соответствует пологая часть вольт-амперной характеристики, сжатой форме соответствует участок с резким изменением напряжения при изменении тока. Токсовая граница перехода дуги из одного состояния другое на рис. 3 обозначена как I_c . Размыкание контактов ВДК осуществляется, как правило, также в двух случаях; при номинальном токе, при котором дуга находится в диффузной форме, и при токе короткого замыкания. При токах, соответствующих пологому участку вольт-амперной характеристики дуги, сопротивление ВДК мало. Поэтому в случае размыкания контактов при номинальном токе, при активном сопротивлении нагрузки и малых значениях параметра R_H/X_C величины токов обеих ВДК полюса, как и величины их сопротивлений не сильно отличаются друг от друга. Следовательно, в данном случае условия в ВДК полюса при размыкании цепи отличаются несущественно.

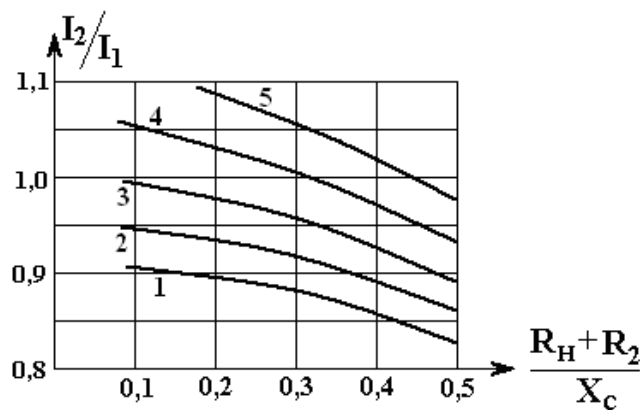


Рис. 2. Расчетные зависимости различия токов в ВДК полюса от величин параметров эквивалентной схемы: 1 – $X_H/X_C = +0,10$; 2 – $X_H/X_C = +0,05$; 3 – $X_H/X_C = 0$; 4 – $X_H/X_C = -0,05$; 5 – $X_H/X_C = -0,10$)

Различие токов в ВДК полюса при коммутации токов короткого замыкания определяется соотношением

$$\frac{I_2}{I_1} = \left[1 + \frac{R_2^2}{X_C^2} \right]^{-0,5}. \quad (3)$$

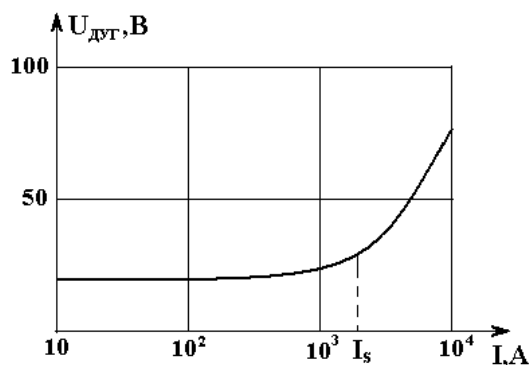


Рис. 3. Типовая вольт-амперная характеристика вакуумной дуги

При этом необходимо учитывать, что условия в ВДК при размыкании токов короткого замыкания зависят от конструкции узлов контактов, которой формируется магнитное поле между разведенными контактами при наличии дуги. Известно, что в ВДК используется как аксиальное, так и поперечное магнитное поле. С помощью аксиального магнитного поля осуществляется смещение условий формирования сжатой формы дуги в сторону больших токов. Поэтому размыкание цепи при токах короткого замыкания в ВДК с аксиальным магнитным полем происходит на пологом участке вольт-амперной характеристики вакуумной дуги, как и размыкание цепи при номинальных токах. В ВДК с поперечным магнитным полем размыкание цепи при токе короткого замыкания, в отличие от размыкания при номинальных токах, происходит на участке вольт-амперной характеристики с резкой зависимостью напряжения от тока.

Как следует из рис. 3, сопротивление вакуумной дуги в сжатом ее состоянии может существенно превышать сопротивление дуги в диффузном состоянии. При этом величина сопротивления дуги в диффузном состоянии практически не зависит от тока. Поэтому если в ВДК используется аксиальное магнитное поле, то отличие их режимов при отключении токов короткого замыкания будут малы. При использовании поперечного магнитного поля при размыкании токов короткого замыкания величины токов в ВДК полюса могут отличаться. Если к тому же учитывать резкую зависимость напряжения дуги от тока в сжатом состоянии, то это отличие может быть существенным.

Контакты ВДК, через которые течет большой ток, а следовательно, к которым приложено большее напряжение, подвержены большей тепловой нагрузке. В результате в такой ВДК понижен коммутационный ресурс, что отражается на коммутационном ресурсе полюса. Таким образом, из проведенного анализа следует, по коммутационному ресурсу полюс, в котором используются ВДК с аксиальным магнитным полем, имеет преимущество перед полюсом, в котором используются ВДК с аксиальным магнитным полем. Этим обосновывается целесообразность построения полюса выключателя на ВДК с аксиальным магнитным полем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Slade P.G. The Vacuum Interrupter / P.G. Slade // Theory, Design und Application. CPC Press. 2008. 510 p.
2. Атабеков Г.И. Основы теории цепей / Г.И. Атабеков / СПб.: Лань, 2006. 423 с.
3. Школьник С.М. Вакуумная дуга / С.М. Школьник // Энциклопедия. Низкотемпературная плазма. М.: Наука, 2000. Т. 2. С. 115-132.

Мазеев Евгений Валентинович – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Электротехника и электроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Муллин Виктор Валентинович – кандидат технических наук, Генеральный директор ОАО «НПП «Контакт», г. Саратов

Maseev Evgeny Valentinovich – Ph.D., Assistant Lecturer Department of Electrical Engineering and Electronics Gagarin Saratov State Technical University

Mullin Victor Valentinovich – Ph. D. Director General: JSC «NPP Kontakt»

УДК 621.316.

В.В. Муллин, М.А.Фурсаев**ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДУГИ В ВАКУУМНЫХ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ КАМЕРАХ С ПОПЕРЕЧНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**

Обсуждены причины изменения скорости перемещения дуги в пространстве между контактами в вакуумных дугогасительных камерах с поперечным магнитным полем при изменении напряжения коммутируемого тока. Проведена оценка изменения этой скорости в течение периода напряжения.

Вакуумная дугогасительная камера, контакт, вакуумная дуга, поперечное магнитное поле

V.V. Mullin, M.A.Fursaev**EVALUATION OF ARC MOTION SPEED IN VACUUM INTERRUPTERS USING TRANSVERSE MAGNETIC FIELD CONTACTS**

Factors causing variation speed in the gap between transverse magnetic field contact of a vacuum interrupter at different values of switched current voltage are discussed. The variation speed evaluation during the whole voltage period is effectuated.

Vacuum interrupter; contact; vacuum arc; transverse magnetic fields

Вакуумные дугогасительные камеры (ВДК) нашли широкое применение в качестве исполнительных элементов в современной технике коммутации электрических цепей переменного тока высокого напряжения. Они представляют собой конструкцию, в полости которой в вакуумной среде осуществляется механическое замыкание и размыкание контактов. При этом загорается и гаснет дуга между контактами, один из которых является катодом, а другой – анодом. При смене полярности напряжения функции катода и анода между контактами меняются.

С целью увеличения коммутационного ресурса ВДК используется магнитное поле. Различают конструкции камер: с поперечным и магнитным полем [1]. В настоящей работе рассматриваются особенности действия магнитного поля, способствующие увеличению коммутационного ресурса ВДК.

Коммутация электрической цепи осуществляется как при номинальном токе, так и при токе короткого замыкания. Очевидно, коммутационный ресурс, зависящий от уровня термической нагрузки контактов, существенно ниже при токах короткого замыкания. При больших значениях тока вакуумная дуга в ВДК пребывает в сжатой форме, при которой она концентрируется в «столбы», т.е. формируются сгустки плазмы, имеющие резкие границы в поперечном направлении и во всем пространстве между катодом и анодом. При такой форме дуги на поверхности контакта, выполняющего функцию анода, под действием интенсивной электронной бомбардировки образуются «анодные пятна», которые, наряду с «катодными», являются источниками сильно ионизованной плазмы. Для снижения термической нагрузки, что соответственно приводит к увеличению коммутационного ресурса, в данном случае необходимо обеспечить более равномерную термическую нагрузку анода, которая может достигаться перемещением столба дуги в течении времени. Это перемещение осуществляется при использовании поперечного магнитного поля.

Магнитное поле в ВДК создается за счет специальной конструкции контактов, которые имеют индукторы. По этим индукторам, когда горит дуга, протекает ток, который обуславливает магнитное поле между разомкнутыми контактами. Величина магнитной индукции этого поля прямо пропорциональна величине тока дуги. Индукторами, обеспечивающими создание поперечного магнитного поля, являются спиралеобразные участки контактов, которые образуются прорезями на контактах. Угловая ориентация этих участков, расположенных друг против друга, такова, что притекающие по ним токи, имеют одно и то же направление на столб дуги, который можно рассматривать как проводник с током. В соответствии с законом Ампера поперечное магнитное поле приводит его в движение. В [1] для расчета силы, действующей на столб дуги, предложено использовать соотношение

$$F = 0,5iLB,$$

где i – ток, протекающий по спиралеобразному участку контакта, L – расстояние между контактами, B – магнитная индукция. Под действием этой силы столб дуги перемещается вдоль спиралеобразных участков, т.е. по существу по периферии рабочих поверхностей контактов.

В ВДК с поперечным магнитным полем электроны в столбе дуги находятся под действием скрещенных электрического и магнитного полей. В этих условиях электроны движутся под действием силы. Скорость поступательной компоненты этого движения определяется соотношением

$$v = E/B,$$

где E – напряженность электрического поля, величина которого определяется величиной напряжения между разведенными контактами. Можно предположить, что с этой скоростью происходит движение столба дуги.

Мгновенное значение напряженности электрического поля, действующее на электроны столба дуги, изменяется во времени так, как и напряжение между контактами. Величина магнитной индукции также изменяется в течение полупериода этого напряжения, поскольку магнитное поле обусловлено током дуги, протекающим по индукторам контактов. Изменение величины магнитной индукции пропорционально изменению тока дуги. В свою очередь, величины мгновенных значений тока дуги и напряжения между контактами связаны через вольт-амперную характеристику вакуумной дуги, вид которой приведен на рис. 1 [2].

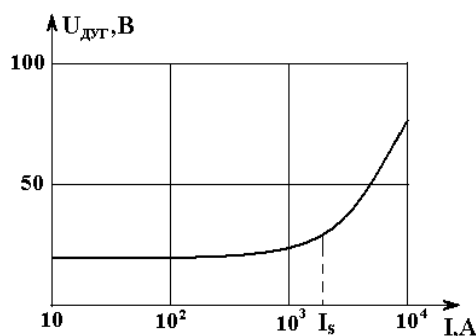


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика вакуумной дуги

Как видно, в области малых токов, где дуга пребывает в диффузной форме, когда плазма практически однородно заполняет пространство между контактами, вольт-амперная характеристика линейна. На линейном участке вольт-амперной характеристики обеспечивается пропорциональность между величинами напряженности электрического поля и магнитной индукции. Поэтому можно считать, что скорость поступательного движения электронов в течение периода переменного напряжения остается неизменной. При больших значениях тока дуги, находящейся в сжатой форме, ее вольт-амперная характеристика нелинейная. Она может быть аппроксимирована показательной функцией с величиной показателя степени больше двух. Величина напряженности электрического поля изменяется в большей степени, чем величина магнитной индукции. Вследствие этого в течение периода переменного напряжения скорость поступательного движения электронов будет изменяться, что влечет за собой изменение перемещения столба дуги. Однако на основании изложенного выше не представляется возможным определить истинную скорость перемещения столба дуги в ВДК с поперечным магнитным полем при размыкании электрической цепи при коротком замыкании в нагрузке, но может быть оценена величина изменения этой скорости. Критерием изменения может быть величина отношения максимального значения скорости перемещения столба дуги, которую он приобретает в течение полупериода переменного напряжения, к значению скорости в фиксированной фазе полупериода.

Для оценки изменения скорости перемещения столба дуги в ВДК в течение полупериода напряжения был рассмотрен простейший случай, т.е. в предположении, что расстояние между контактами остается неизменным, в течение полупериода дуга находится в сжатой форме, а ее перемещение начинается с начала полупериода и заканчивается в его конце, т.е. не учитывается факт пребывания дуги в диффузном состоянии при малых величинах токов. Величина показателя степени при аппроксимации вольт-амперной вакуумной дуги в сжатой форме принималась равной 3.

Как показал расчет, скорость перемещения столба дуги в течение полупериода переменного напряжения сначала увеличивается, а затем уменьшается. Максимальная скорость достигается при максимуме мгновенного значения напряжения. Величина отношения значения максимальной скорости перемещения столба дуги к значениям скорости, соответствующим фазам 10 и 170 градусов переменного напряжения, равна 0,3.

Таким образом, в те моменты времени, когда энергия электронной бомбардировки анода максимальна, обеспечивается максимальная скорость перемещения столба дуги, а вследствие этого пе-

ремещения анодного пятна, являющегося местом интенсивной электронной бомбардировки и наибольшей термической нагрузки по поверхности контакта. Этим достигается равномерность распределения термической нагрузки по поверхности контакта, выполняющего функцию анода в ВДК с поперечным магнитным полем, а тем самым увеличение ее коммутационного ресурса.

Экспериментальная проверка результатов выполненного расчета затруднена из-за сложности обеспечения зажигания дуги при разведенных контактах. Поэтому были использованы данные экспериментальных исследований [3]. Исследования проводились с использованием цифровой видеокамеры. Процесс съемки позволяет регистрировать все моменты существования дуги между контактами в течение полупериода переменного напряжения при сохранении кадров. Дуга зажигалась при размыкании контактов при одновременном начале полупериода переменного напряжения. Однако в [3] не приведены данные относительно скорости разведения контактов и расстояния между разведенными контактами.

Согласно экспериментальным данным, перемещение столба дуги начинается не с нулевой фазы переменного напряжения и заканчивается до окончания его полупериода. Дело в том, что при разведении контактов загорается короткая дуга, которая по своим свойствам близка к дуге сжатой формы. Она загорается в последних местах соприкосновения контактов. При малых величинах тока дуги, а следовательно, при малых значениях магнитной индукции сила Лоренца мала и не способна оторвать дугу от места ее возникновения. При уменьшении напряжения дуга переходит из сжатой формы в диффузную с равномерным распределением плазмы в пространстве между контактами. Однако, как следует из эксперимента, максимальная скорость перемещения столба дуги соответствует области фаз переменного напряжения, где его величина наибольшая. Отношение измеренной максимальной скорости перемещения столба дуги к измеренным скоростям в начале и в конце его перемещения составляют 0,18 и 0,27. Эти значения весьма близки к полученным при расчете.

Таким образом, приведенные выше данные можно рассматривать как подтверждение предположения, что изменение скорости перемещения столба дуги в ВДК в поперечном магнитном поле, когда отключается электрическая цепь при токах короткого замыкания, связано с нелинейностью зависимости напряжения от тока дуги, находящейся в сжатой форме. При этом максимальная скорость перемещения столба дуги достигается в фазах полупериода переменного напряжения, в которых оно максимально, в результате чего увеличивается коммутационный ресурс ВДК такой конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Slade P.G. The Vacuum Interrupter. Theory, Design und Application / P.G. Slade // CPC Press. 2008. 510 p.
2. Белкин Г.С. Коммутационные процессы в электрических аппаратах / Г.С. Белкин. М.: Знак, 2003. 224 с.
3. Gentsch D. High-Speed Observations of Modes of RMT and AMT Contacts / D. Gentsch, W. Shang // XX Internation Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum. Yalta: Crimea, 2004. P. 257-260.

Муллин Виктор Валентинович –
кандидат технических наук,
Генеральный директор ОАО «НПП «Контакт»,
г. Саратов

Mullin Victor Valentinovich –
Ph. D.
Director General: JSC «NPP Kontakt»

Фурсаев Михаил Александрович –
доктор технических наук, профессор кафедры
«Электротехника и электроника» Саратовского
государственного технического университета
имени Гагарина Ю.А.

Mikhail A. Fursaev –
Dr. Sc., Professor
Department of Electrical Engineering and Electronics,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 22.02.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 539.193/.194;535/.33/34

В.Ф. Пулин, П.М. Элькин

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРОВ КЛОФЕЛИНА

На основании неэмпирических квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала предложена интерпретация фундаментальных колебаний клофелина.

Колебательные состояния, адиабатический потенциал, клофелин

MODELLING OF STRUCTURES AND SPECTRA FOR CLOPHELINUM

Interpretation of the fundamental vibration based on non-empirical calculation of clophelinum has been proposed.

Vibrational state, adiabatic potential, clophelinum

Введение

Клофелин (клонидин) – широко известный медицинский препарат. Объяснить результаты его биологической активности на молекулярном уровне представляется возможным лишь после оценки параметров его адиабатического потенциала, определяющего основные физико-химические свойства молекулярных систем.

Наиболее наглядно форма адиабатического потенциала проявляется в оптических спектрах молекул, в первую очередь в их колебательных спектрах [1]. Однако в периодической литературе надежные экспериментальные данные по ИК и КР спектрам клофелина нами не обнаружены. В таких случаях для моделирования колебательных состояний используются возможности неэмпирических и гибридных методов квантовой механики молекулярных систем.

В данной работе на основании модельных расчетов параметров адиабатического потенциала молекулы клофелина в рамках метода функционала плотности DFT/b3LYP [2] предложена теоретическая интерпретация колебательного спектра соединения.

Результаты модельных расчетов структуры и спектра

Результаты оптимизации исходной неплоской конфигурации клофелина (рисунок) представлены в табл. 1. Отклонение неприведенных значений валентных углов шестичленного фрагмента от соответствующих углов в бензоле не превышает 2°. Выбор базиса расчета принципиального значения не имеет.

Для теоретической оценки положения полос в колебательном спектре соединения использована известная ангармоническая модель [3]

$$E_v = \nu_s(n_s + 1/2) + \chi_{sr}(n_s + 1/2)(n_r + 1/2) \quad (1)$$

Для ангармонических констант χ_{sr} использованы выражения из публикации [4]

$$\chi_{ss} = 1/16F_{ssss} - 5/48(F_{sss})^2/\nu_s + 1/32(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) - \Omega(s;s;r) - 12\Omega(r;r;r)) (1-\delta_{sr}) \quad (2)$$

$$\chi_{sr} = 1/16F_{ssrr} - 1/8(F_{ssr})^2(\Omega(s;s;-r) + \Omega(s;s;r)(1-\delta_{sr}) + 3/8(F_{srt})^2(\Omega(s;r;t) - \Omega(s;r;-t) + \Omega(s;-r;t) - \Omega(s;-r;-t))(1-\delta_{sr})(1-\delta_{st})(1-\delta_{rt}) + L(a;sr)^2/(\Omega(s;r;0) + \Omega(s;-r;0))/2 \quad (3)$$

Оценочные значения ангармонических силовых констант (F_{srt} и F_{srtv}) для связей NH заимствованы из публикации [5].

Интерпретация спектра выполнена в предположении, что набор фундаментальных колебаний клофелина можно разделить на две части. Первая часть связана с колебаниями бензольного фрагмента (1-3 – тип тризамещенных бензола [1]). Второй набор колебаний касается имидазольного фрагмента. Для молекулы имидазола интерпретация колебательного спектра считается устоявшейся. Достаточно указать на обширный список в публикациях [6]. Для замещенных имидазола такими данными мы не располагаем. Поэтому использован следующий прием. Интерпретация колебательного спектра имидазольного фрагмента клофелина строится на сопоставлении результатов квантовых расчетов имидазола и его 2-аминозамещенного аналога в предположении, что влияние монозамещения носит локальный характер [7]. В табл. 2 приводятся результаты такого исследования.

Как следует из представленных в табл. 2 данных, выбор базиса расчета не влияет на результаты интерпретации колебательного спектра имидазола и 2-NH₂-имидазола, имеет место предполагаемый локальный характер влияния замещения на силовое поле пятичленного цикла, результаты квантовых расчетов хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными.

Предлагаемая теоретическая интерпретация спектра фундаментальных колебаний мономера клофелина представлена в табл. 3. Курсивом помечены колебания имидазольного фрагмента. Отметим значительную щель (~ 100 см⁻¹) между валентными колебаниями связей NH, что обусловлено различной гибридизацией атома азота в пирамидальном (NH₂) фрагменте и в имидазольном цикле. Расчетные значения ангармонических силовых постоянные связи NH в этом цикле оцениваются величинами, характерными для всех пуриновых оснований: *Kqqq* ~ 2330 см⁻¹, *Kqqqq* ~ 1340 см⁻¹.

Следует ожидать, как и в димерах пурина, что образование димеров клофелина (механизм водородной связи между атомами азота имидазольного цикла и атомом водорода связи NH) спектраль-

но проявится в смещении полосы, интерпретированной как валентное колебание связи NH (q_{NH}) в длинноволновый диапазон на величину $\sim 300 \text{ см}^{-1}$. В коротковолновый диапазон на величину $\sim 50 \text{ см}^{-1}$ сместится полоса, интерпретированная как неплоское деформационное колебание связи NH (ρ_{NH}) пятичленного цикла.

Заключение

Представленные результаты дают основание утверждать, что метод функционала плотности позволяет получить достоверную оценку параметров адиабатического потенциала исследуемого молекулярного объекта и осуществлять предсказательную теоретическую интерпретацию его колебательного спектра.

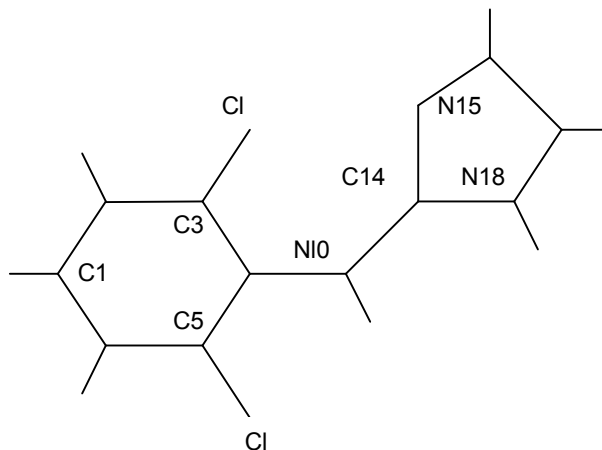


Рис. Молекулярная диаграмма клофелина

Таблица 1

Оптимизированные значения геометрических параметров клофелина

$R_{(3,4)}$	1.41	$R_{(14,15)}$	1.31	$A_{(4,10,13)}$	111	$A_{(16,17,20)}$	132	$D_{(3,4,10,14)}$	-57
$R_{(3,9)}$	1.76	$R_{(15,16)}$	1.38	$A_{(13,10,14)}$	112	$A_{(18,17,20)}$	122	$D_{(5,4,10,13)}$	-8
$R_{(4,5)}$	1.41	$R_{(16,17)}$	1.37	$A_{(10,14,15)}$	127	$A_{(17,18,21)}$	127	$D_{(5,4,10,14)}$	127
$R_{(4,10)}$	1.40	$R_{(17,18)}$	1.38	$A_{(14,15,16)}$	105	$D_{(1,2,3,9)}$	-176	$D_{(4,10,14,15)}$	-38
$R_{(5,11)}$	1.77	$A_{(3,4,5)}$	116	$A_{(15,16,17)}$	110	$D_{(8,2,3,9)}$	3	$D_{(13,10,14,15)}$	96
$R_{(10,14)}$	1.41	$A_{(3,4,10)}$	122	$A_{(17,16,19)}$	128	$D_{(9,3,4,5)}$	176	$D_{(16,17,18,21)}$	-173
R_{CC}	1.39	$A_{(4,5,6)}$	122	$A_{(16,17,18)}$	105	$D_{(3,4,10,13)}$	168	$D_{(20,17,18,21)}$	8

Примечание. Длины связей $R_{(i,j)}$ в Å, валентные $A_{(i,j,k)}$ и двугранные углы $D_{(i,j,k,t)}$ в °.

Таблица 2

Интерпретация колебательного спектра имидазола и 2-NH2-имидазола

Форма колебан	$V_{\text{экс}} [7]$	$V_{\text{анг}}$	Имидазол						2-NH2-Имидазол		
			6311G*		6311G**		6311+G*		6311G**		
			ИК	КР	ИК	КР	ИК	КР	$V_{\text{анг}}$	ИК	КР
q_{NH}	-	3491	37	124	52	122	58	130	3478	48	106
β, β_{NH}, Q	1529	1525	13	1.7	12	1.7	12	3.0	1508	21	39
β, Q	1487	1471	17	11	17	12	21	22	1476	58	1.4
β_{NH}, Q	1427	1390	15	8.0	14	7.8	16	12	1352	5.5	12
Q, β_{NH}, β	1328	1328	6.7	22	6.4	23	6.5	31	1282	1.9	3.1
β, β_{NH}	1259	1255	0.4	7.7	0.4	7.4	0.4	9.8	1177	9.0	5.4
Q, β	1164	1132	4.8	18	4.8	18	5.0	22	1116	1.4	18.3
β_{NH}, β	1100	1121	2.2	10	2.6	11	4.0	9.1	1098	3.7	9.5
β_{NH}, β	1070	1062*	59	4.5	58	4.7	62	3.8	1057	48	0.7
Q, β_{NH}	917	897	9.1	0.9	8.8	0.9	6.6	1.1	914	1.4	3.4

Примечание. Частоты колебаний в см^{-1} , интенсивности в спектрах ИК в км/моль , в спектрах кр в $\text{Å}^4/\text{аем}$. Символом * помечены дублеты.

Интерпретация колебательного спектра клофелина

Форма колебаний	$\nu_{\text{эксп}}$ [5-7]	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	Форма колебаний	$\nu_{\text{эксп}}$ [5-7]	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР
q_{N18H}	3506	3477	70	101	Q, β	1177	1155	8.6	17
q_{N10H}	3339	3370	47	116	β, Q	1092	1103	0.7	20
Q, β	1604	1599	4.0	97	β, Q, β^{**}	1074	1081	60	32
Q, β	1582	1584	28	18	β, γ	953	986	13	5.5
Q, β, Q_{NC}	1541	1560	121	10	ρ_{CN}	855	858	28	18
β	1530	1505	75	2.8	ρ	815	842	3.8	3.2
β	1520	1481	23	160	χ, ρ, ρ_{CCl}^*	762	748	103	3.1
β	1475	1460	136	1.7	ρ, ρ_{NH}, χ^*	724	713	90	6.1
Q, β, β_{NH}	1420	1443	108	18	χ	632	646	21	11
Q, β	1316	1376	10	28	χ	620	594	19	5.6
Q, β, Q_{CN}	1320	1290	35	27	ρ_{NH}	518	534	67	1.9
Q, β, Q_{CN}	1256	1263	22	21	χ	482	517	13	0.7
Q, β	1220	1245	12	11	β_{CN}	397	416	6.0	14
β, Q	1190	1205	16	18	β_{CCl}	349	352	21	3.6

Примечание. Экспериментальные значения для q_{N10H} взяты из диметиламина [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Свердлов Л.М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л.М. Свердлов, М.А. Ковнер, Е.П. Крайнов. М.: Наука, 1970. 560 с.
2. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. et al. 2003. Pittsburg PA.: Gaussian Inc.
3. Hoy A.R. Anharmonic force constants calculation / A.R. Hoy, I.M. Mills, G. Strey // J. Mol. Phys. 1972. Vol. 21. № 6. P. 1265-1290.
4. Элькин М.Д. Учет ангармонического смещения полос в модельных расчетах колебательных спектров димеров с водородной связью / М.Д. Элькин, Л.М. Бабков // Известия Саратов. гос. ун-та. Серия Физика. 2011. Т. 11. Вып. 1. С. 20-25.
5. Элькин М.Д. Квантовый анализ колебательных спектров таутомерных форм димеров пурина / М.Д. Элькин, О.В. Пулин, Е.А. Джалмухамбетова // Проблемы оптической физики: материалы 11-й Междунар. школы по оптике, лазерной физике и биофизике. 2008. С. 171-175.
6. Sadlej J. A theoretical study of vibrational spectra of imidazole and its different forms / J. Sadlej, A. Jaworsski, K. Miaskiewicz // J. Molecular structure. 1992. Vol. 274. P. 247-257.
7. Тен Г.Н. Проявление внутримолекулярного переноса протона в имидазоле в электронном спектре / Г.Н. Тен, В.И. Баранов // Журн. приклад. спектр. 2008. Т. 75. № 2. С. 164-169.
8. Березин В.И. Учет влияния замещения на силовое поле ароматического кольца / В.И. Березин, М.Д. Элькин // Журн. приклад. спектр. 1974. Т. 37. № 2. С. 237-240.

Пулин Виктор Федотович –

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Viktor F. Puklin –

Ph. D., Associate Professor
Department of Physics
Gagarin Saratov State Technical University

Элькин Павел Михайлович –

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Техническая физика и информационная технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Pavel M. Elkin –

Ph. D., Associate Professor
Department of Technical Physics
and Information Technology
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 16.07.12, принята к опубликованию 06.11.12

М.Д. Элькин, О.В. Пулин

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СПЕКТРОВ МЕРКАПТОПУРИНА

На основании неэмпирических квантовых расчетов параметров адиабатического потенциала предложена интерпретация фундаментальных колебаний таутомеров и конформеров меркаптопурина.

Колебательные состояния, адиабатический потенциал, меркаптопурин

M.D. Elkin, O.V. Pulin

MODELLING OF VIBRATION SPECTRA FOR MERCAPTOPURINE

Interpretation of fundamental vibration based on nonempirical calculations for mercaptopurine has been proposed.

Vibrational state, adiabatic potential, mercaptopurine

Введение

Меркаптопурин принадлежит к группе пуриновых оснований, различные таутомерные производные которого являются основой целого класса противоопухолевых лекарственных препаратов, играющих определяющую роль в мутагенных процессах белковых образований. Таутомеры и конформеры меркаптопурина (рисунок) можно рассматривать как 4-SH- замещенные пурина, структурно-динамические модели таутомеров которого предложены, к примеру, в публикации [1].

Цель данной публикации – теоретическое моделирование структуры и колебательного спектра таутомеров N7 и N9 меркаптопурина и 4S-N1-пурина, интерпретация имеющихся экспериментальных данных [2-4].

Результаты модельных расчетов

Оптимизация предполагаемой плоской исходной геометрии молекул (тип симметрии Cs) осуществлена в рамках метода DFT/b3LYP/6-311G** [5]. Результаты представлены в табл. 1. Расхождение в значениях валентных связей (Å) и валентных углов (°) иллюстрирует наличие заголовков (K1, K2 конформеры с двугранными углами D(3,4,11,S) = 0 и 180° соответственно. Символы T1 и T2 относятся к N7 и N9 таутомерам). По сравнению с пурином изменение соответствующих длин валентных связей не превышает величины ~ 0.01 Å, для валентных углов 0.1°. Значение валентного угла A(4,S,H) оценивается интервалом 93.2-94.7° для конформеров K1 таутомера N7 и конформеров таутомера N9. Для конформера K2 таутомера N7 расчет дает значение 97.3°. Оценки длин валентных связей CS, C=S и SH хорошо согласуются с данными из монографии [6].

Теоретическая оценка положения полос в колебательном спектре соединения осуществлялась с помощью известного соотношения [7]

$$E_v = \nu_s(n_s + 1/2) + \chi_{sr}(n_s + 1/2)(n_r + 1/2) \quad (1)$$

Для ангармонических констант χ_{sr} использованы выражения из публикации [8], входящие в них значения ангармонических силовых констант для связей NH заимствованы из публикации [1].

Результаты модельных расчетов колебательных состояний исследуемых молекулярных объектов представлены в табл. 2-4. Слабые по интенсивности полосы, как и полосы, интерпретированные как валентные колебания связей СН, исключены из рассмотрения. Отметим, что спектральная идентификация конформеров рассматриваемых таутомеров меркаптопурина по положению и интенсивностям полос затруднена. В диапазоне выше 500 см⁻¹ относительное смещение полос не превосходит величины ~10 см⁻¹, а низкочастотные колебания имеют слабую интенсивность. Для спектральной

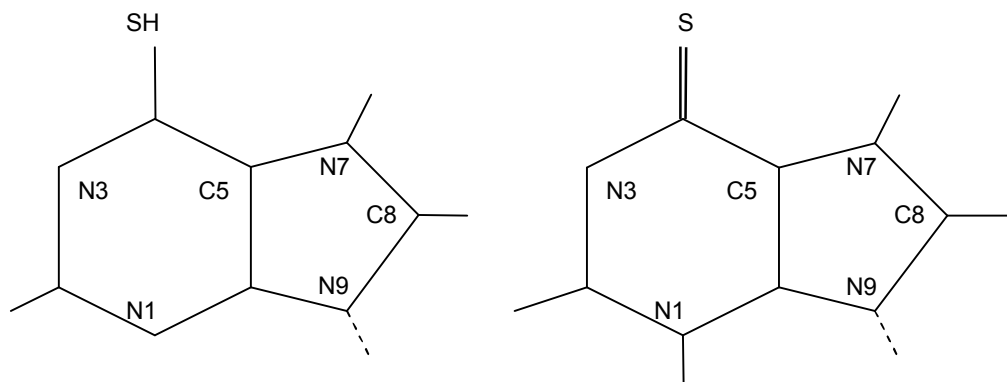
идентификации таутомеров N7 и N9 можно использовать значения интенсивностей полос в диапазоне 1600-1200 см^{-1} .

Согласно данным, приведенным в табл. 4, для спектральной идентификации таутомеров 4S-пурина можно использовать как смещение положения полос в колебательном спектре соединений, так и их интенсивность. В основном это касается плоских колебаний в диапазоне выше 700 см^{-1} , а также неплоских деформационных колебаний связей NH, располагающихся в диапазоне ниже 600 см^{-1} .

В реальных условиях исследуемые соединения находятся в конденсированном состоянии, образуя димеры. Как и в молекуле пурина [1], имеет место общая закономерность изменения фундаментальных частот колебаний при переходе от мономеров к димеру с водородной связью. Идентификация соединения может определяться по частоте валентного колебания связи NH, соседствующей с водородной связью. Понижение указанной частоты на величину $\sim 200 \text{ см}^{-1}$ согласуется с эффектом водородной связи [6]. В то же время заметно увеличивается частота неплоского колебания связи NH, примыкающей к водородной связи. Для различных таутомеров указанное колебание смещается на величину $\sim 60 \text{ см}^{-1}$. Они наиболее интенсивны в ИК спектрах, что можно использовать для спектральной идентификации димеров меркаптопурина.

Заключение.

Представленные результаты моделирования колебательных состояний таутомеров и конформеров меркаптопурина дают основание полагать, методы функционала плотности можно использовать для достоверных предсказательных расчетах структуры и спектра различных пуриновых оснований.



Молекулярные диаграммы меркаптопурина и 4S-пурина

Таблица 1

Оптимизированные геометрические параметры меркапто- и 4S- пурина

Пар-ры	(C-S)	(C=S)	Пар-ры	(C-S)	(C=S)	Пар-ры	(C-S)	T1 _(C=S)	T2 _(C=S)
R _(1,2)	1.33	1.37	R _(5,7)	1.38	1.38	A _(2,3,4)	118,5	121,3	122,4
R _(1,6)	1.34	1.37	R _(6,9)	1.37	1.36	A _(3,4,5)	119,1	113,7	114,3
R _(2,3)	1.35	1.29	R _(11,14)	1.35	-	A _(5,7,8)	105,2	107,1	105,8
R _(3,4)	1.33	1.40	A _(2,1,6)	112,8	116,1	A _(7,8,9)	113,7	112,9	112,6
R _(4,5)	1.39	1.44	A _(1,2,3)	128,1	124,8	A _(5,7,12)	127,7	124,1	-
R _(4,11)	1.78	1.66	A _(1,2,10)	116,6	114,7	A _(6,9,8)	105,6	103,3	105,2
R _(5,6)	1.41	1.38	A _(3,2,10)	115,3	119,4	A _(8,9,12)	127,6	-	126,9
Пар-ры	K1	K2	T1 _(C=S)	T2 _(C=S)	Пар-ры	K1	K2	T1 _(C=S)	T2 _(C=S)
A _(3,4,11)	119,7	116	123,3	120,7	A _(5,4,11)	121,4	124,8	123	125
Пар-ры	T1	T2	T1 _(C=S)	T2 _(C=S)	T1	T2	C=S	T1 _(C=S)	T2 _(C=S)
R _(7,8)	1.38	1.31	1.36	1,30	A _(6,5,7)	105,1	111	103,7	109,1
R _(8,9)	1.31	1.38	1.33	1,39	A _(1,6,5)	122,8	126,6	118,4	122,4
A _(4,5,6)	118,2	115,5	123,7	120,1	A _(7,8,13)	121	125	122,5	126,3
A _(4,5,7)	136,8	1334	132,6	130,8	A _(9,8,13)	125	121,4	124,6	121,1

Таблица 2
Интерпретация колебаний конформеров таутомера меркаптопурина-N7

Форма колебаний	V _{эксп} [1]	V _{эксп} [11]	K1			K2		
			V _{анг}	ИК	КР	V _{анг}	ИК	КР
q _{CN}	3506	3425	3470	73	91	3475	59	88.0
q _{SH}	2570	-	2574	4.3	140	2564	13	82
Q,β,γ	1609	1610	1586	91	9.4	1583	68	10
β,γ	1584	1520	1523	190	19	1524	221	18
Q,β	1488	-	1468	53	25	1472	53	26
β,Q	1451	1410	1437	19	1.8	1437	23	1.7
Q,β*	1403	1345	1356	211	28	1353	204	22
Q,β	1333	-	1316	53	62	1313	57	64
Q,β	1289	1275	1267	68	11	1271	60	9.2
Q	1228	1220	1232	5.4	14	1232	7.3	10
β,Q	1060	-	1067	15	13	1067	18	13
β _{SH} ,q _{CS}	-	930	963	45	5.8	976	32	14
γ	896	970	872	28	3.1	897	50	7.5
γ,q _{CS}	788	-	820	51	15	831	34	8.6
ρ	882	-	866	11	0.0	865	12	0.0
ρ _{NH}	438	-	441	102	1.2	410	115	2.1
χ _{SH}	242	-	251	13	3.7	138	8.3	2.5
χ	214	-	188	21	3.9	-	-	-

Таблица 3

Интерпретация колебаний конформеров таутомера меркаптопурина-N9

Форма колебаний	V _{эксп} [1]	V _{эксп} [11]	K1			K2		
			V _{анг}	ИК	КР	V _{анг}	ИК	КР
q _{NH}	3506	3425	3469	97	167	3467	96	169
q _{SH}	2570	-	2571	0.7	137	2557	0.8	79
Q,β,γ	1609	1575	1580	73	9.6	1581	93	9.8
Q,β,γ	1584	1520	1548	273	16	1545	253	17
β,γ	1488	-	1464	14	73	1464	17	65
β,Q	1451	1410	1415	70	5.2	1418	78	4.6
Q,β,γ*	1403	1345	1365	37	31	1365	31	31
Q,β,γ	1339	-	1314	82	64	1315	80	72
Q,β	1289	1275	1265	6.8	44	1263	9.8	39
Q,β	1228	1220	1235	98	8.3	1239	102	6.3
Q,β	1180	1150	1150	5.7	14	1154	4.7	12
β,Q	1060	-	1048	21	8.0	1051	19	7.9
β _{SH} ,γ	1034	1010	997	38	7.7	1003	45	11
β _{SH} ,γ	-	930	913	12	2.5	927	10	4.2
β _{SH} ,γ	896	870	890	24	2.6	893	21	3.9
γ	788	-	830	69	11	838	47	8.5
γ _{CC} ,β _{CS}	562	-	513	39	2.1	489	12	1.2
β _{CS}	-	-	220	10	0.3	187	3.3	3.1
ρ _{CC} ,χ	562	-	560	81	0.9	560	89	0.9
χ _{OH}	-	-	333	15	7.6	343	21	6.1

Примечание. Частоты колебаний в см⁻¹. Интенсивности в спектрах ИК в км/моль, в КР спектрах Å⁴/аеи. Символом * помечены дублеты (щель <20 см⁻¹).

Интерпретация колебаний таутомеров 4S-пурина

4S-пурин-N7					4S-пурин-N9				
Форма	$\nu_{\text{эксп}}$	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР	Форма	$\nu_{\text{эксп}}$	$\nu_{\text{анг}}$	ИК	КР
ν_{NH}^*	3506	3441	220	249	ν_{NH}^*	3506	3455	176	452
Q, β , γ	1609	1591	457	57	Q, β , γ	1609	1608	279	51
Q, β , β_{NH}	1584	1562	91	18	Q, β , γ	1584	1541	302	14
Q, β , β_{NH}	1488	1475	11	74	Q, β_{NH} , β	1488	1516	23	47
Q, β , γ	1451	1427	28	22	Q, β	1451	1475	6	66
Q, β , β_{NH}	1403	1417	76	8.0	Q, β_{NH} , β^*	1403	1365	77	11
β ,Q*	1333	1361	136	96	Q, β , γ	1333	1333	22	58
Q, β , β_{NH}	1289	1312	33	79	β , β_{NH}	1289	1316	44	38
Q, β , γ	1228	1269	69	13	β , β_{NH} ,Q	1228	1246	2.1	28
β , ν_{CS}	1206	1190	19	21	γ , β , ν_{CS}	1206	1191	83	20
$\nu_{\text{C-S}}$, ν_{CS}	1180	1155	113	15	β , β_{NH} ,Q	1180	1121	86	45
β ,Q	1101	1082	36	34	β ,Q	1101	1035	54	1.7
β ,Q	1060	1037	94	1.1	β	1060	1026	95	10
γ , β	1034	978	31	7.7	Q, γ , β_{CS}	1034	977	11	6.8
γ	986	938	8.1	7.5	γ	903	913	30	5.6
γ	766	861	15	2.8	γ	882	859	15	4.2
γ	643	661	2.4	19	γ	662	652	3.7	18
γ	562	567	0.5	7.8	γ	562	554	0.7	6.3
γ	438	428	7.5	15	γ	438	429	4.8	18
ρ	793	833	9.9	0.1	ρ	793	797	16	0.9
χ , ρ	662	640	31	1.7	ρ_{CC} , χ	607	623	5.1	1.6
ρ_{N7H}	607	581	62	3.0	ρ_{NH7} , χ	438	439	141	2.8
ρ_{N1H}	562	556	85	2.1	ρ_{N1H}	-	349	57	1.1
χ	242	291	25	0.1	χ	242	277	4.0	0.0

ЛИТЕРАТУРА

1. Элькин П.М. Теоретический анализ таутомерных форм пурина / П.М. Элькин, О.В. Пулин, Е.А. Джалмухамбетова // Журн. приклад. спект. 2008. Т. 75. № 1. С. 23-27.
2. Acevedo-Chaves R., Costas M.e., Escudero R. Vagnetic study of the novel polynuclear compound // J. Solid state chemistry.1997. V.132. P. 78-87.
3. Tautomerizm and infrared spectra of 2-thiopurine: an experimental matrix isolation and theoretical ab initio and density functional theory study / T. Stepanenko, L. Lapinsky, M. Novak, J. Kwiatkowski, J. Leszczinski // Spectrochim. Acta. 2001. Vol. 57. № 2. P. 375-383.
4. Vibrational spectra and normal coordinate analysis on structure of mercaptopurine / S. Gnasecaran, U. Pomnambalan, S. Muthu, L. Mapiaphan // Asian jornal of physics. 2003. Vol. 12. № 1. P. 51-56.
5. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B. et al. 2003. Pittsburg PA.: Gaussian Inc.
6. Свердлов Л.М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л.М. Свердлов, М.А. Ковнер, Е.П. Крайнов. М.: Наука, 1970. 560 с.
7. Hoy A.R. Anharmonic force constants calculation / A.R. Hoy, I.M. Mills, G. Strey. // J. Mol. Phys. 1972 Vol. 21. № 6. P. 1265-1290.
8. Элькин М.Д. Учет ангармонического смещения полос в модельных расчетах колебательных спектров димеров с водородной связью / М.Д. Элькин, Л.М. Бабков // Известия Саратов. гос. ун-та. Серия Физика. 2011. Т. 11. Вып. 1. С. 20-25.

Элькин Михаил Давыдович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Физика» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Mikhail D. Elkin – Dr. Sc., Professor Department of Physics and Information Technology Engels Technological Institute Part of Gagarin Saratov State Technical University

Пулин Олег Викторович –
кандидат физико-математических наук, ассистент
кафедры «Физика» Энгельского
технологического института (филиала)
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Pavel M. Elkin –
Ph. D., Assistant
Department of Physics
and Information Technology
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 17.09.12, принята к опубликованию 06.11.12

УДК 53.097

А.С. Розов, В.Б. Байбури, А.С. Ершов

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯДОВ
В СКРЕЩЕННЫХ ПОЛЯХ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ ПРОСТРАНСТВА
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Проведён анализ траекторий зарядов в скрещенных полях в условиях изменяющегося во времени электрического поля, расстояния между электродами.

Траектории зарядов, поперечное магнитное поле, подвижные электроды

A.S. Rozov, V.B. Baiburin, A.S. Ershov

**ANALYTICAL SOLUTION FOR EQUATIONS OF MOTION CHARGES IN CROSSED FIELDS
UNDER THE CHANGING SPACE AND ELECTRIC FIELD**

Analysis has been made of the trajectories for charges in crossed fields under the time-varying electric field, and the distance between the electrodes.

Trajectories of charges, transverse magnetic field, movable electrode

Как правило, при анализе процессов в устройствах со скрещенными полями геометрические параметры пространства взаимодействия принимаются неизменными во времени. Вместе с тем в ряде случаев, например в вакуумно-дуогасительных камерах (ВДК), расстояние между электродами меняется при разрыве контактов.

Целью данной работы, является получение аналитических решений для траекторий зарядов в скрещенных полях при меняющемся расстоянии между электродами и переменном во времени электрическом поле. Анализ проводился применительно к схеме на рис. 1.

В основе анализа лежит система уравнений движений зарядов в скрещенных электрических и магнитных полях [1]:

$$\begin{aligned}\ddot{y} &= \eta E_y - \Omega \dot{x} \\ \ddot{x} &= \eta E_x + \Omega \dot{y}\end{aligned}\tag{1}$$

где E_x, E_y – составляющие электрического поля (в общем случае переменные в пространстве и времени), $\Omega = \eta B$ – циклотронная частота, $\eta = \frac{q}{m_0}$ – отношение заряда частицы к его массе. В нашем

случае $E_x(t) = 0, E_y(t) = \frac{U_0 \sin(\omega t + \phi)}{d(t)}$, где U_0 – величина переменного потенциала на электродах

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота переменного электрического поля, ϕ – начальная фаза, $d(t) = v_d t$ – изменяющееся во времени расстояние между электродами, v_d – скорость раздвижения электродов.

Примем следующие начальные условия $y(0) = 0, V_{y0} = 0$.

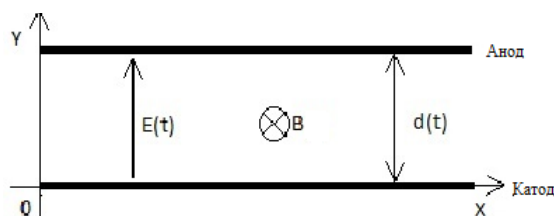


Рис 1. Схема с меняющимся во времени расстоянием катод-анод

С учётом начальных условий проинтегрируем второе уравнение системы (1) и получим :

$$\dot{x} = \Omega y \tag{2}$$

Подставив полученное выражение в первое уравнение системы (1), будем иметь:

$$\ddot{y} + \Omega^2 y = \eta E_y(t), \tag{3}$$

Как известно из [2], общее решение однородного уравнения для дифференциального уравнения (3) имеет вид

$$y(t) = C_1 \cos(\Omega t) + C_2 \sin(\Omega t), \tag{4}$$

Используя метод Лагранжа [3] для нахождения общего решения уравнения (3), получим

$$y(t) = \cos(\Omega t) \int -\frac{\eta U_0 \sin(\omega t + \phi)}{v_d t} \sin(\Omega t) dt + \sin(\Omega t) \int \frac{\eta U_0 \sin(\omega t + \phi)}{v_d t} \cos(\Omega t) dt, \tag{5}$$

Приняв существенную медленность изменения $d(t)$ во времени по сравнению с изменением $E_y(t)$, получим следующее решение для $y(t)$

$$y(t) = \frac{\eta U_0}{d(\Omega + \omega)} \sin(t(\Omega + \omega) + \phi) + \frac{\eta U_0}{d} \cos(\Omega t). \tag{6}$$

Зная $y(t)$ найдём из уравнения (2) $x(t)$:

$$x(t) = \frac{\eta U_0}{d(\Omega + \omega)} t \sin(t(\Omega + \omega) + \phi) + \frac{\eta U_0}{d} \cos(\Omega t). \tag{7}$$

На рис. 2, 3 представлены траектории зарядов, рассчитанные по соотношениям (6), (7), соответствующие менявшимся во времени расстояниям между электродами, а также разным начальным фазам переменного потенциала на электродах. На рисунках серым цветом представлены траектории, полученные численным методом [4]. Также на рисунках чёрной линией показано текущее положение анода.

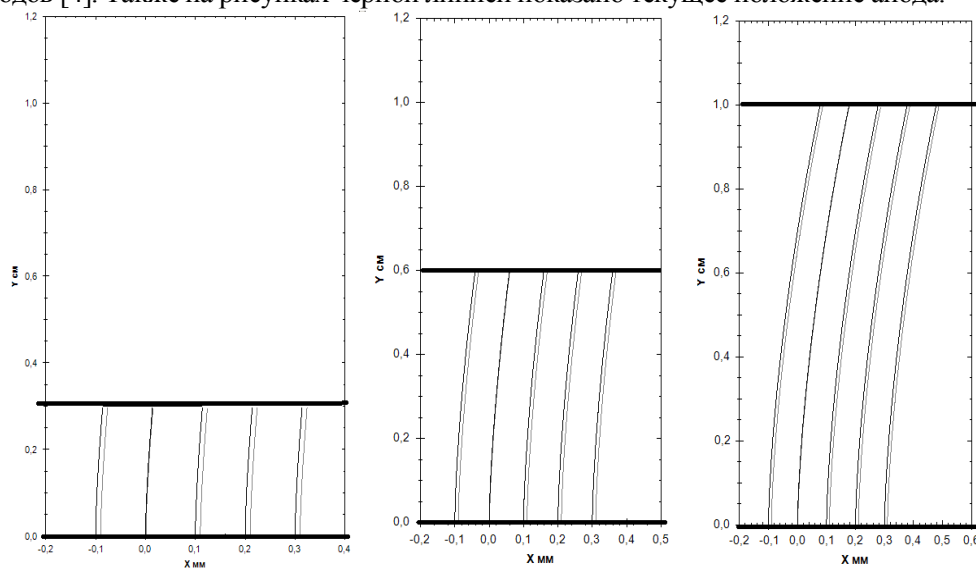


Рис. 2. Траектории, полученные численным методом в [4] и аналитически по соотношениям (6), (7) $\phi = 0$

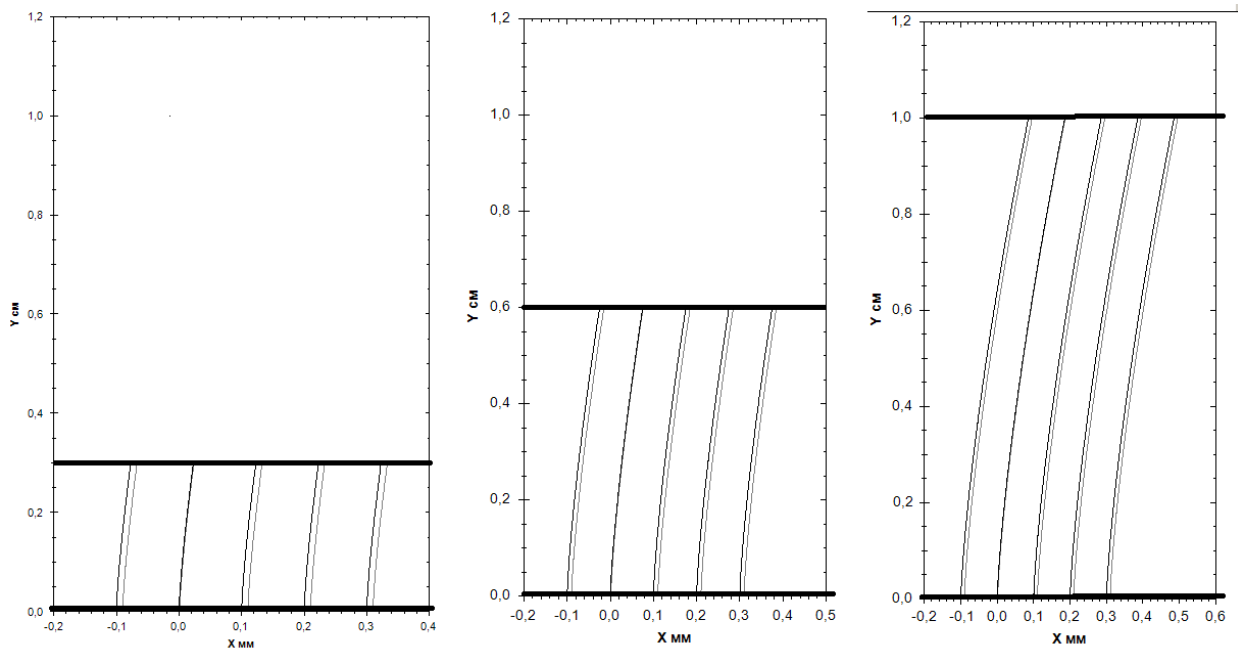


Рис. 3. Траектории, полученные численным методом в [4] и аналитически по соотношениям (6), (7) $\phi = \frac{\pi}{2}$

Как видно, полученные результаты согласуются с результатами численных расчётов, полученных в [4]. Как и следовало ожидать, траектории в случае $\phi = 0$, имеют более пологий вид, что связано с минимальным значением электрического поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайнштейн Л.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике / Л.А. Вайнштейн, В.А. Солнцев. М.: Сов. радио, 1986.
2. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. М.: Наука, 1988. Т. 1.
3. Матвеев Н.М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений / Н.М. Матвеев. М.: Высш. шк., 1967.
4. Розов А.С. Анализ траекторий в вакуумных дугогасительных камерах (ВДК) при разрыве контактов / А.С. Розов, В.Б. Байбурин, В.В. Муллин // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ техника. М., 2012.

Розов Александр Станиславович – студент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksander S. Rozov – Undergraduate
Department of Software, Computer Engineering and Automated Systems
Gagarin Saratov State Technical University

Байбурин Вил Бариевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vil B. Baiburin – Dr. Sc., Professor
Head: Department of Software, Computer Engineering and Automated Systems
Gagarin Saratov State Technical University

Ершов Алексей Сергеевич – ассистент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksey S. Ershov – Assistant Lecturer
Department of Automated Information System Security
Gagarin Saratov State Technical University

В.В. Сысоев, И.В. Киселев

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННОГО ПОКРЫТИЯ SiO_2 ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ
ЛОКАЛЬНЫХ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПЛЕНКИ $\text{SnO}_2\text{:Pt}$
В СОСТАВЕ ОДНОКРИСТАЛЬНЫХ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ**

Рассмотрены возможности применения мембранных покрытий из оксида кремния для дифференциации локальных газочувствительных свойств тонких пленок оксида олова при разработке однокристалльных мультисенсорных систем. Установлено, что нанесение мембраны SiO_2 однородной толщины ухудшает газочувствительный отклик пленки SnO_2 и газораспознавательную способность однокристалльных микросистем на ее основе. Учитывая результаты электрических измерений, предположено, что обработка равномерным ионным пучком Ar^+ поверхности пленки оксида олова приводит к формированию дополнительных дефектов в приповерхностном слое и, соответственно, увеличению проводящего канала в объеме пленки, что уменьшает величину газочувствительного отклика и при отсутствии дифференциации свойств – к ухудшению газораспознавательной способности микросистемы. Осаждение мембраны SiO_2 неравномерной толщины до 24 нм позволяет значительно увеличить селективность определения газов с помощью развитой мультисенсорной системы.

Оксид, газовый сенсор, мультисенсорная система

V.V. Sysoev, I.V. Kiselev

**EMPLOYMENT OF SiO_2 MEMBRANE COATING TO DIFFERENTIATE LOCAL
GAS-SENSING PROPERTIES OF $\text{SnO}_2\text{:Pt}$ THIN FILMS
IN SINGLE-CRYSTAL MULTISENSOR ARRAYS**

We consider features to employ membrane coatings of silicon oxide in order to differentiate local gas-sensing properties of tin dioxide thin films for gas-analytical single-crystal multisensor arrays. It is found that the SiO_2 membrane deposition of homogeneous 7 nm thickness just depresses both the gas response of SnO_2 thin film and gas-analytical power of multisensor array based on this film. Accounting for the performed electrical measurements it is suggested that the exposure of SnO_2 film to Ar^+ flux radiation accompanying the SiO_2 deposition results in a generation of additional defects at SnO_2 surface layer and, correspondingly, to increase the conducting channel in the film bulk that reduces both its gas response and gas-analytical power under inhomogeneous characteristics. The deposition of the inhomogeneous SiO_2 membrane, up to 24 nm thickness, allows us to significantly increase the selectivity of gas identification with the help of the developed multisensor array.

Oxide, gas sensor, multisensor array

При формировании однокристалльных мультисенсорных микросистем, предназначенных для анализа газового состава среды [1-3], на основе хеморезистивных оксидных пленок [4] необходимы методы дополнительной дифференциации локальных газочувствительных свойств применяемого оксида. Такая дифференциация может быть выполнена путем вариации «внешних» и «внутренних» параметров устройства, через например, приложение неравномерного нагрева [5], неоднородного легирования пленок, в т.ч. собственными дефектами [6], нанесение неоднородных катализаторов [7] и пр. Варьируя параметры полупроводниковой оксидной пленки можно получать сенсоры с газочувствительными характеристиками, отличающимися при воздействии разных газов (в том числе одного вида – окислители или восстановители).

Наиболее дешевые методы формирования таких мультисенсорные устройства могут быть развиты в рамках микроэлектронных технологий. В данной работе мы рассматриваем особенности формирования однокристалльных мультисенсорных микросистем при применении дифференциации функциональных свойств сегментов оксидной пленки SnO_2 для увеличения газораспознавательной способности микросистем путем нанесения мембранных покрытий из оксида кремния.

Для проведения эксперимента были использованы мультисенсорные чипы на основе пленки $\text{SnO}_2\text{:Pt}$ из разных партий, одинаково изготовленных согласно протоколу, изложенному в [4, 5]. Мембранное покрытие из оксида кремния наносилось индивидуально на каждый чип с помощью метода ионно-лучевого химического осаждения (ИЛХО) в вакуумной установке. Подробно технология представлена в [8-10]. Кратко метод ИЛХО основан на активации адсорбированных молекул прекурсора из фенилтриэтилсилана с помощью Ar^+ -ионного луча, сформированного ионной пушкой (рис. 1) и направляемого с энергией около 3 кВ на поверх-

ность чипа. На поверхности чипа, находящегося при комнатной температуре, молекулы прекурсора разлагаются и полимеризуются в SiO_2 . Для формирования мембраны неоднородной толщины на пути ионного потока между ионной пушкой и поверхностью чипа располагается маска со щелью шириной около 2 мм. В зависимости от расстояния между щелью и подложкой чипа (около 5 мм), плотность ионного тока меняется вдоль поверхности чипа (см. рис. 1), что приводит к пространственно-неоднородной скорости осаждения мембраны SiO_2 . В результате толщина осаждаемого мембранного покрытия варьируется. Поскольку формируемый слой SiO_2 содержит углеродные включения из органического прекурсора, после нанесения мембраны чипы подвергаются дополнительному отжигу при $300\text{ }^\circ\text{C}$ на воздухе. Удаление атомов углерода приводит к образованию пор, что способствует доступу газа через мембрану к поверхности газочувствительного оксида.

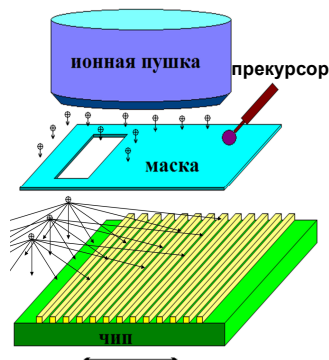


Рис. 1. Схема осаждения мембранного покрытия SiO_2 методом ИЛХО (адаптировано из [8])

С целью исследования влияния мембранного покрытия на газочувствительность и газораспознавательную способность мультисенсорных микросистем, на них были нанесены мембраны однородной толщины (с помощью осаждения без щелевой маски) и неоднородной толщины (с помощью осаждения с применением щелевой маски). Время осаждения однородной мембраны составляло около 5,5 мин, неоднородной – 20,5 и 30 мин. Для контроля толщины осаждаемой мембраны SiO_2 на мультисенсорный чип в вакуумной установке параллельно чипу размещалась подложка из окисленного кремния с нанесенной пленкой $\text{SnO}_2\text{:Pt}$, имеющей одинаковые геометрические размеры с размерами исследуемых мультисенсорных чипов, но без нанесенных компланарных мультиэлектродов¹.

Толщина мембранного покрытия, нанесенного на эти «безэлектродные» подложки, измерялась с помощью эллипсометра SE400 (SENTECH Instruments GmbH, Германия), оборудованного Ge-Ne лазерным источником с длиной волны излучения равной 632,8 нм. Площадь поверхности, на которой проводились измерения, составляла около $50 \times 50\text{ }\mu\text{m}^2$.

На рис. 2а представлены результаты измерения указанных трех мембранных покрытий. На рис. 2б приведена схема мультисенсорного чипа для сопоставления распределения толщины мембранного покрытия номерам сенсорных сегментов. Как видно из рисунка, толщина однородного мембранного покрытия на чипе #1 составляет около 7 нм по всей длине чипа. Толщина неоднородного мембранного покрытия следует близкому к смещенному гауссовому распределению – с максимальной величиной до 16 нм (чип #2, время осаждения 20,5 мин) и до 24 нм (чип #3, время

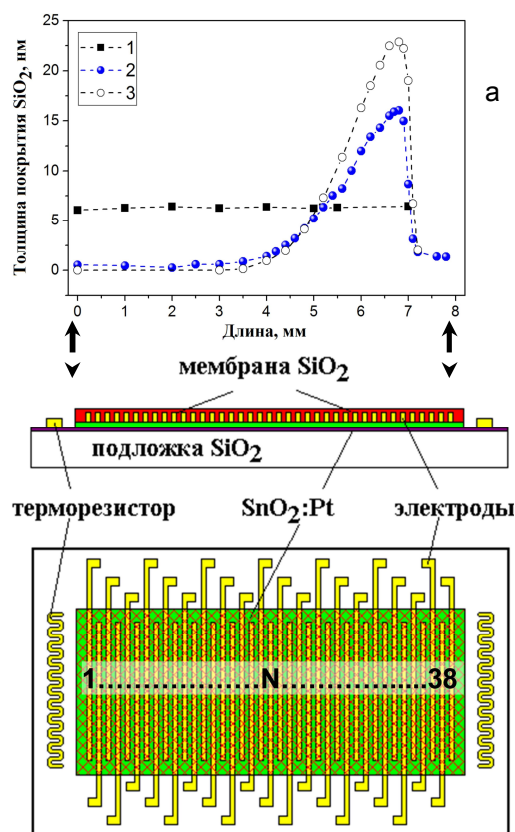


Рис. 2. а – толщина свежеосажденного мембранного покрытия SiO_2 , нанесенного поверх мультисенсорного чипа #1 (однородной толщины, время осаждения 5,5 мин), #2, #3 (неоднородной толщины, время осаждения 20,5 и 30 мин., соответственно), измеренная с помощью эллипсометра; б – схема мультисенсорного чипа. Номер сенсорных сегментов обозначен буквой N

¹ Такие образцы можно исследовать с помощью эллипсометра. В мультисенсорных чипах электроды препятствуют эллипсометрическим измерениям.

осаждения 30 мин). На чипах #2, 3 мембранное покрытие SiO_2 нанесено фактически между 20-36 сенсорными сегментами с максимумом толщины, расположенным в области сегментов 30-35. На сегментах 1÷20 чипов #2, 3 толщина мембранного покрытия минимальна.

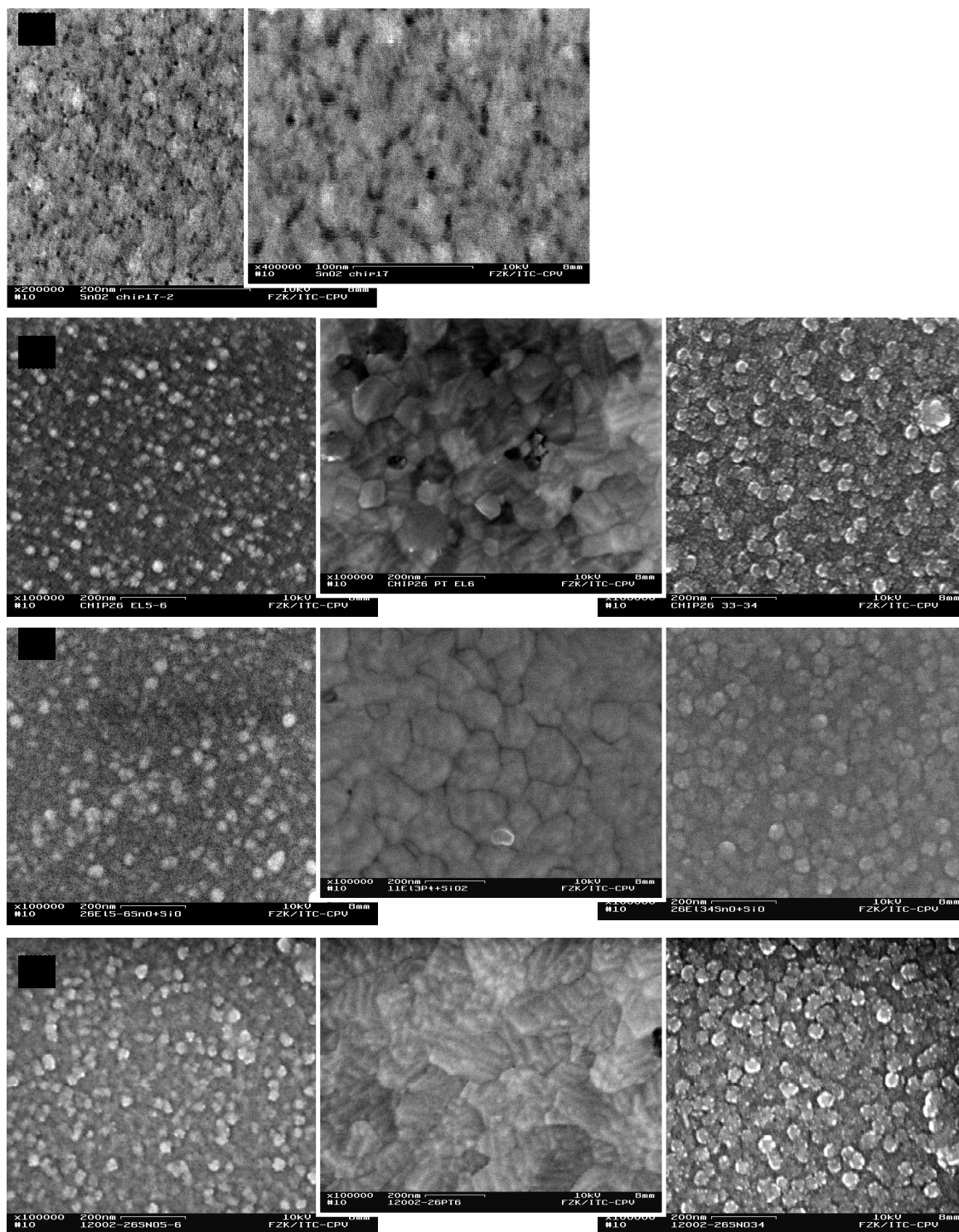


Рис. 3. Микрофотография поверхности мультисенсорного чипа: а) поверхность пленки $\text{SnO}_2:\text{Pt}$ непосредственно после изготовления (без нанесенного покрытия из SiO_2); б) поверхность непокрытого чипа после исследования его газочувствительных свойств; в) поверхность чипа после нанесения покрытия из SiO_2 ; д) поверхность покрытого чипа после исследования его газочувствительных свойств. Левое и правое фото соответствуют поверхности пленки $\text{SnO}_2:\text{Pt}$ на участке низкого (около 300°C) и высокого (около 350°C) нагрева, среднее фото – поверхность электрода из Pt

Морфология поверхности пленки $\text{SnO}_2:\text{Pt}$ на мультисенсорном чипе изучалась с помощью сканирующего электронного микроскопа (DSM 982, Gemini lense, LEO Elektronenmikroskopie GmbH, Германия), оборудованного дополнительными Si-диодными детекторами вторичных электронов,

электронов обратного рассеяния и др. [11, 12], на следующих этапах: 1) непосредственно после изготовления мультисенсорных чипов; 2) после проведения исследования газочувствительности и газораспознавательной способности непокрытых мультисенсорных чипов; 3) непосредственно после нанесения на чипы мембранного покрытия из SiO_2 ; 4) после проведения исследования газочувствительности и газораспознавательной способности мультисенсорных чипов, покрытых мембранным покрытием из SiO_2 . Типичные фотографии представлены на рис. 3.

Как видно из микрофотографий, свежесаженная газочувствительная пленка $\text{SnO}_2\text{:Pt}$ имеет неупорядоченную «квазиаморфную» структуру (рис. 3a). После продолжительного нагрева мультисенсорных чипов при рабочих температурах (300-360 °C) во время исследования газочувствительности происходит кристаллизация пленки $\text{SnO}_2\text{:Pt}$ (рис. 3b). При этом образуются кристаллиты размерами 10÷30 нм в области более низкого нагрева (около 300 °C) и 20÷50 нм в области более высокого нагрева (около 350 °C). Как видно из рис. 3c, мембранное покрытие нанесено достаточно равномерно в «квазиаморфном» виде на поверхности как пленки $\text{SnO}_2\text{:Pt}$, так и металлического электрода. В основном видны остатки углеродных включений из органического прекурсора на поверхности чипа. Измерение дифракции рентгеновского излучения с поверхности электрода (рис. 3c, среднее изображение) было выполнено с помощью детектора INCAPentaFET-x3 (размер кристалла Ge 30 мм², Oxford Instruments, Великобритания), объединенного со спектрометром рентгеновского излучения Link Isis 300 и встроенного в сканирующий электронный микроскоп. Измерения показали достаточно большое наличие углерода, превышающее содержание кремния (рис. 4). Отмеченные углеродные включения практически исчезают после продолжительного нагрева мультисенсорных чипов при рабочих температурах во время проведенных измерений газочувствительности (рис. 3d), что ярче выражено в области поверхности пленки $\text{SnO}_2\text{:Pt}$, нагретой до более высоких температур.

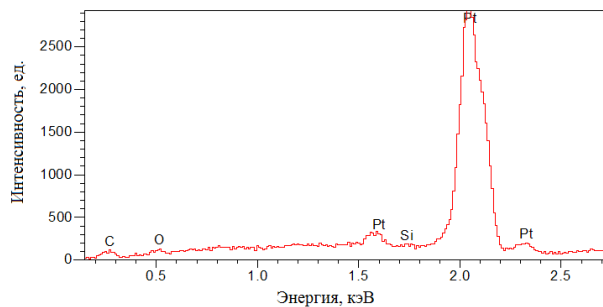


Рис. 4. Спектрограмма рентгеновского излучения с поверхности платинового электрода мультисенсорного чипа после нанесения мембранного покрытия. Запись сделана в вакуумной камере сканирующего электронного микроскопа

Для визуализации структуры мембранного покрытия SiO_2 был изучен образец пленки $\text{SnO}_2\text{:Pt}$ на подложке Si/SiO_2 , на который был нанесен однородный слой SiO_2 толщиной около 70 нм. Чтобы исследовать морфологию сечения этого покрытия из оксида кремния, образец был подвергнут лазерной резке. Морфология и элементный состав покрытия SiO_2 были изучены непосредственно после его нанесения и после продолжительного отжига в течение 8 дней на воздухе при температуре около 300 °C (муфельная печь Heraeus RO 4/25). После отжига отмечено изменение цвета покрытия с красного на желтый, что показывает изменение толщины мембраны. На рис. 5 показано изображение поперечного сечения структуры $\text{Si}/\text{SnO}_2/\text{SiO}_2$ в сканирующем электронном микроскопе и спектрограмма рентгеновского излучения, записанная в двух точках поверхности мембранного покрытия из SiO_2 . Данные получены непосредственно после изготовления образца. Как видно из рисунка, мембранное покрытие состоит из несплошной пленки SiO_2 . Из количественного анализа спектрограммы рентгеновского излучения, записанного в двух точках – на участке сплошной пленки (т. 2, рис. 5) и в примесном включении (т. 1, рис. 5) следует, что содержание углерода в т. 1 более чем в 10 раз превышает содержание углерода в т. 2, а содержание кремния в т. 1 почти в 10 раз меньше содержания кремния в т. 2.

Это подтверждает, что видимые примесные включения в составе покрытия SiO_2 соответствуют углероду. Результаты аналогичного анализа той же структуры $\text{Si}/\text{SnO}_2/\text{SiO}_2$ после проведения отжига представлены на рис. 6. Как видно из рисунка, поверхность мембранного покрытия SiO_2 становится после отжига более гладкой, но содержание углерода остается высоким.

Газочувствительность и газораспознавательная способность трех мультисенсорных чипов была изучена до и после нанесения мембранного покрытия из SiO_2 . На рис. 7 представлена экспериментальная установка, состоящая из следующих основных элементов:

1) набор баллонов с аттестованными газовыми смесями, включающими синтетический воздух (20,5 % кислорода, 79,5 % азота), монооксид углерода (1971 ppm в синтетическом воздухе), ацетон (422 ppm в синтетическом воздухе) и изопропанол (495 ppm в синтетическом воздухе);

2) газосмесительный блок, состоящий из прецизионных потокомеров (MKS, Германия), пневматических клапанов (Fujitsu, Япония) и газопроводов. Принцип формирования газовой смеси заключался в смешивании потоков газов известного состава, подаваемых в газопроводы с управляемой скоростью. Основной поток воздуха направлялся через расходомеры, обозначенные как MFC5,

MFC6, MFC7, MFC8, с верхним пределом скорости потока в 5 л/мин; тестовый газ направлялся через расходомеры, обозначенные на схеме рис. 7 как MFC1, MFC2, MFC3, MFC4, с малыми верхними пределами скорости газового потока (0,1; 0,2; 0,01; 0,5 л/мин, соответственно). Открытие/закрытие газовых каналов осуществлялось с помощью пневматических клапанов, обозначенных на схеме рис. 7 как V#. Управление газосмесительным блоком осуществлялось с помощью персонального компьютера; 3) устройства KAMINA, у которых рабочие камеры с размещенными мультисенсорными чипами были соединены параллельно к выходу газа из газосмесительного блока. Перед каждым устройством KAMINA был установлен шариковый расходомер KDG Kobold (Kobold Messring GmbH, Германия) для контроля равномерности и равенства потоков газа.

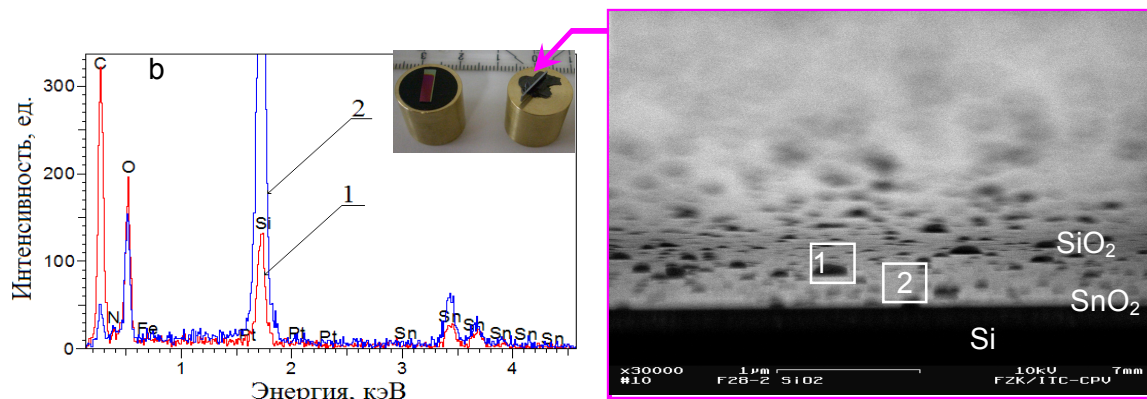


Рис. 5. Изображение поперечного сечения структуры Si/SnO₂/SiO₂ в сканирующем электронном микроскопе (а) и спектрограмма рентгеновского излучения, записанная в точках 1 и 2 (b) поверхности мембранного покрытия из SiO₂ непосредственно после изготовления. Вставка на рис. (b) – фотография металлического держателя сканирующего электронного микроскопа с помещенным образцом для измерения

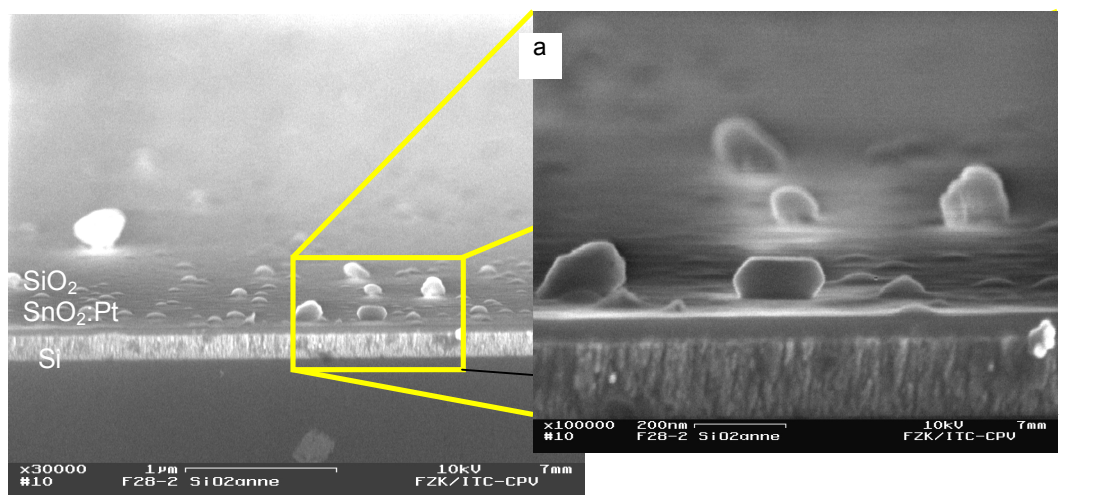


Рис. 6. Изображение поперечного сечения структуры Si/SnO₂/SiO₂ в сканирующем электронном микроскопе (а) и спектрограмма рентгеновского излучения (b), записанная в двух точках поверхности мембранного покрытия из SiO₂ после проведения отжига

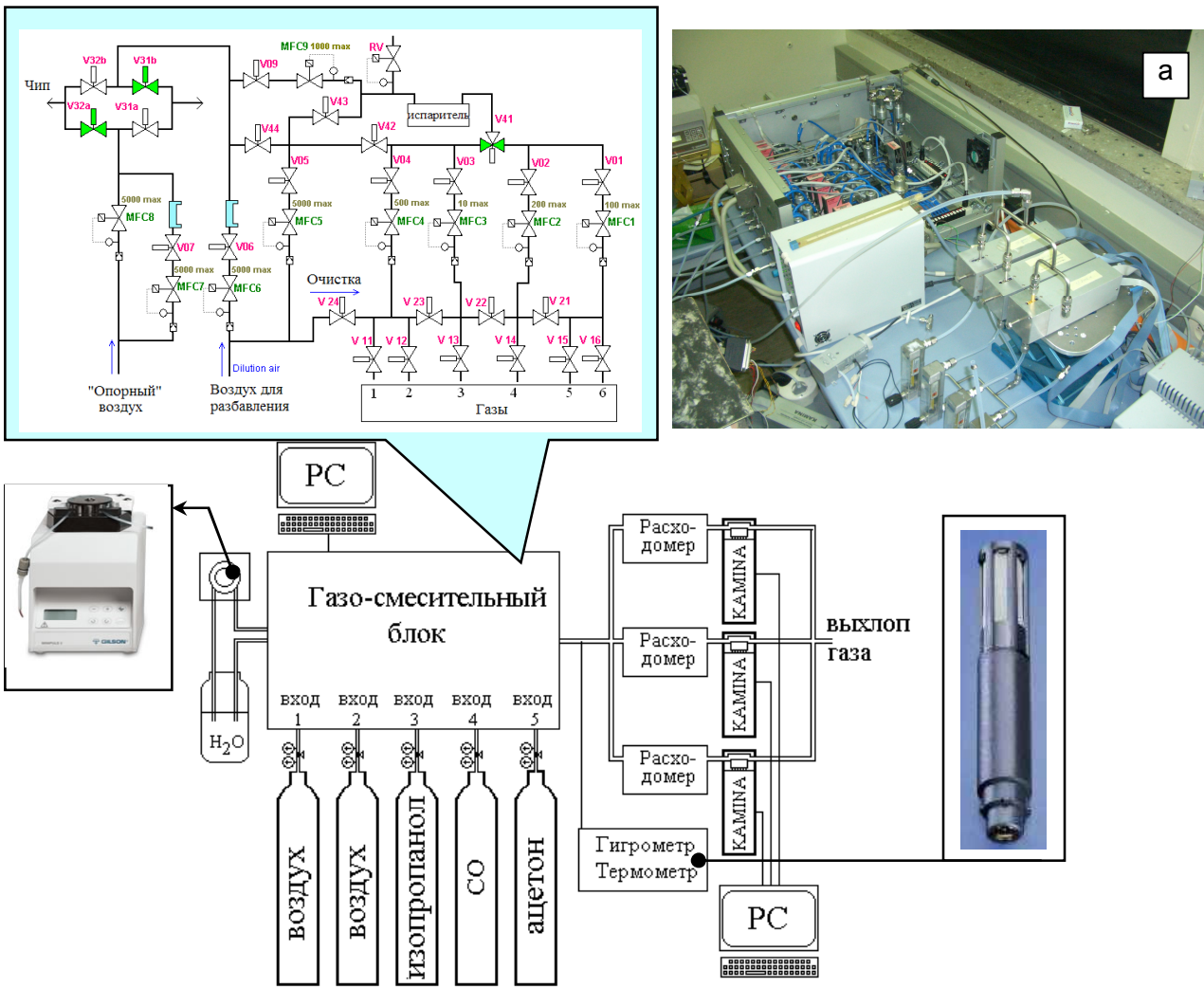


Рис. 7. Экспериментальная установка для изучения газочувствительности мультисенсорных микросистем на основе тонкой пленки SnO₂:Pt. Описание установки приведено в основном тексте. Вставка (а): фотография установки

Для поддержания необходимого уровня влажности в газах использовалась перистальтическая водяная помпа Minipuls 312 (Gilson, Villiers, Франция), которая обеспечивала подачу воды в газопроводы. Во всех экспериментальных измерениях содержание влажности поддерживалось на уровне около 50 % с помощью настройки соответствующих потоков газа в газо-смесительном блоке. Контроль содержания паров воды в газовых смесях осуществлялся независимо емкостным датчиком HygroClip (Rotronic Co., США), служащим также и для измерения температуры газа. Скорость потока газов через каждый из мультисенсорных чипов поддерживалась на уровне 0,5 л/мин. Диапазон концентраций тестового газа в газовой смеси с синтетическим воздухом в зависимости от исходной аттестованной смеси составлял: 1) ацетон: 0,5; 1; 3; 10; 30; 100; 210 ppm; 2) изопропанол: 0,5; 1; 3; 10; 30; 100; 245 ppm; 3) CO: 1; 2; 3; 5; 10; 30; 100; 300; 985 ppm. Перед подачей каждого газа газопроводы установки очищались продувкой синтетического воздуха в течение 2-5 часов. Как правило, 1 часа продувки было достаточно для удаления остатков

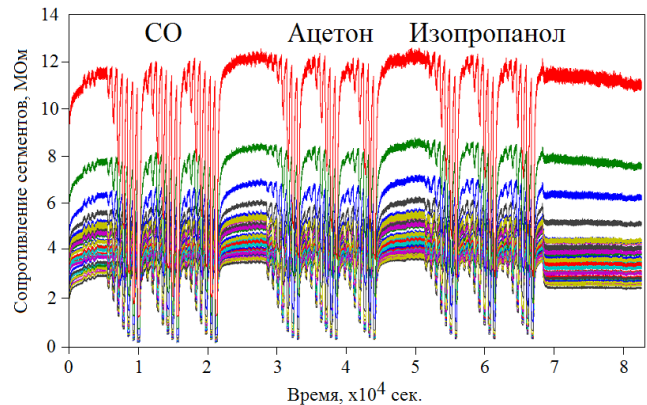


Рис. 8. Измерение сопротивления сенсорных сегментов мультисенсорного чипа #1 с нанесенным однослойным покрытием SiO₂ в атмосфере трех газов (СО, ацетон, изопропанол), смешанных с синтетическим воздухом со ступенчато-изменяющейся концентрацией

паров в газопроводах. Подача газов осуществлялась в следующей последовательности: газовая смесь 1, концентрация 1 → чистый воздух → газовая смесь 1, концентрация 2 → чистый воздух → → газовая смесь 1, концентрация 7 → чистый воздух и т.д. С целью получения достаточной статистической выборки данная последовательность повторялась три раза для каждого из тестовых газов. Время воздействия газов на мультисенсорные чипы составляло 10 мин., время продувки чистым воздухом камеры чипа между воздействиями тестовых газовых смесей составляло 15 мин. Опрос всех сенсорных сегментов мультисенсорного чипа во время измерений осуществлялся со скоростью 1 Гц. Пример одного из типичных экспериментов представлен на рис. 8.

Измерения отклика к газам мультисенсорного чипа на основе пленки $\text{SnO}_2\text{:Pt}$ проводилось в различных режимах распределения рабочей температуры (нагрева) по подложке [5]: квазипостоянном, $\Delta T < 10^\circ\text{C}$; 2) с максимальной вариацией температуры, $\Delta T = 60\div 70^\circ\text{C}$; 3) с промежуточной вариацией температуры, $\Delta T \sim 30^\circ\text{C}$. Нижний предел рабочей температуры поддерживался на уровне около 300°C . Распределение температуры по подложке мультисенсорной микросистемы устанавливалось с помощью контроля сопротивления терморезисторов и контролировалось (визуализировалось) с помощью ИК-камеры.

На рис. 9 представлено изменение сопротивления на воздухе сенсорных сегментов мультисенсорных чипов трех типов после покрытия мембраной из SiO_2 по сравнению с сопротивлением непокрытых образцов. Как видно из рисунка, нанесение тонкого однородного покрытия из SiO_2 на мультисенсорный чип #1 ведет к некоторому, до 30 %, уменьшению сопротивления сенсорных сегментов #6-21. Это уменьшение связано с тем, что, по-видимому, во время экспозиции мультисенсорных чипов в вакуумной камере при осаждении мембраны SiO_2 также происходит очистка поверхности пленки $\text{SnO}_2\text{:Pt}$ от адсорбированных атомов кислорода, воды и гидроксильных групп. В результате происходит возврат электронов, локализованных на локальных поверхностных энергетических уровнях, соответствующих отмеченным адсорбированным частицам акцепторного типа, в зону проводимости пленки оксида олова. Более того, учитывая достаточно большую энергию потока Ag^+ ионов, возможно образование дополнительных дефектов в приповерхностном слое оксида олова.

Наблюдаемое уменьшение сопротивления частично «консервируется» при последующей экспозиции чипов в воздухе, содержащем кислород и воду, поскольку нанесенная мембрана SiO_2 препятствует доступу газа к поверхности оксида олова, и часть поверхностных центров адсорбции становится неактивной. Отметим, что распределение изменения сопротивления в случае нанесения однородной мембраны SiO_2 в зависимости от номера сенсорного сегмента остается достаточно равномерным.

В области сегментов #22-38 можно отметить увеличение сопротивления (до 60 % для сегмента #38) в режиме работы при квазипостоянной температуре, однако в других режимах пространственного распределения рабочей температуры сопротивление сегментов #22-38 после нанесения мембраны оказывается ниже, также как и для сегментов #6-21. Возможной причиной отличия результатов, полученных при квазипостоянном нагреве в области сегментов #22-38, является некоторое расхождение установленного температурного профиля по подложке чипа при измерениях до и после нанесения мембраны. В свою очередь, нанесение мембраны SiO_2 неодинаковой толщины на чипы #2, 3 приводит к большим вариациям сопротивления, с тенденцией, одинаковой для всех температурных режимов нагрева. В области сегментов #1-24, «затемненной» во время осаждения мембраны, происходит однородное увеличение сопротивления, достигающее 70 %. Это увеличение, по-видимому, связано с упорядочением поликристаллической структуры, рассмотренным выше при обсуждении результатов по изучению морфологии поверхности с помощью сканирующего электронного микроскопа (рис. 3). В области сенсорных сегментов #24-38, где нанесена мембрана SiO_2 , профиль сопротивления существенно изменяется в сторону его относительного понижения, так же как и в случае чипа #1 вследствие воздействия потока ионов Ag^+ . Этот эффект более ярко выражен в мультисенсорном чипе #3, где нанесен более толстый слой мембраны и время экспозиции в ионном пучке было больше.

Оценка газочувствительных свойств сенсорных сегментов мультисенсорных чипов и их изменения проводилась по следующим параметрам: 1) отклику S , рассчитываемому как относительное изменение сопротивления в процентах $S = \left(\frac{R_{air}}{R_{gas}} - 1 \right) \cdot 100$, где R_{air} – сопротивление сенсорного сегмента на воздухе, R_{gas} – сопротивление сенсорного сегмента в тестовой газовой смеси; 2) показа-

телю степени α , получаемому при аппроксимации зависимости отклика S от концентрации газа C в газозвушной смеси степенным законом $S = C^\alpha$.

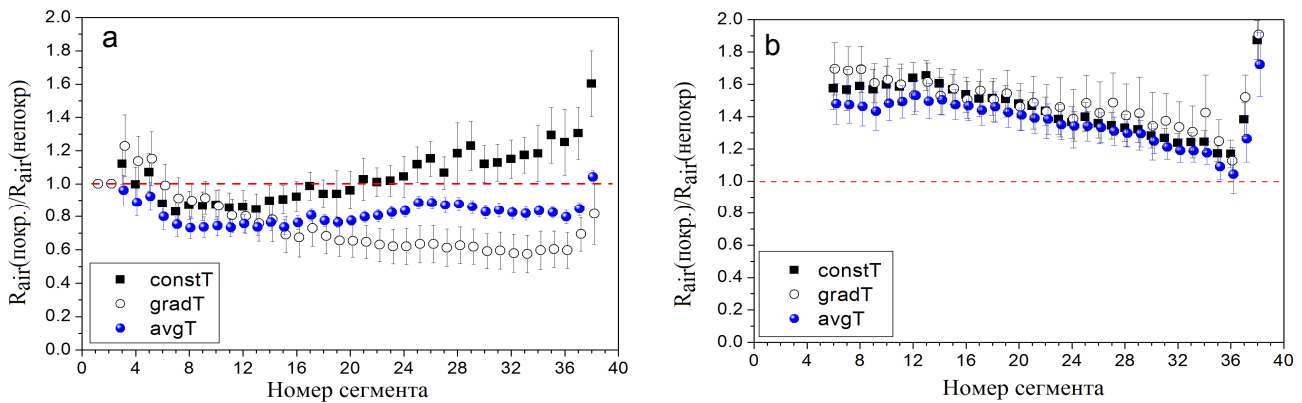
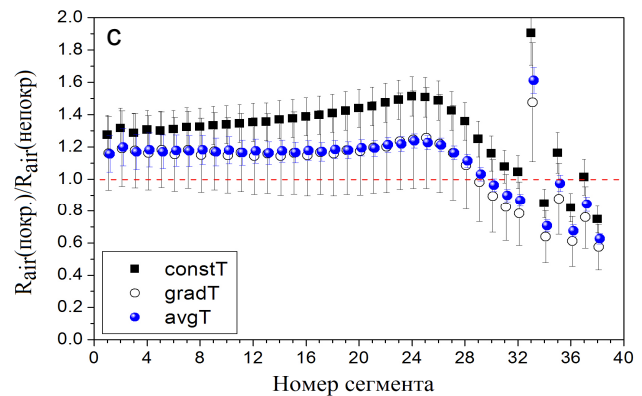


Рис. 9. Отношение сопротивления сенсорных сегментов мультисенсорных чипов до ($R_{air(непокр.)}$) и после ($R_{air(покр.)}$) покрытия мембраной SiO_2 в чистом воздухе: а) чип #1, покрытие мембраной однородной толщины 7 нм; б) чип #2, покрытие мембраной неоднородной толщины 2-16 нм; в) чип #3, покрытие мембраной неоднородной толщины 2-24 нм. Измерения выполнены в трех режимах распределения рабочей температуры: квазипостоянном (constT), приложения максимального градиента $\Delta T=60\pm 70$ °C (gradT), приложения среднего градиента $\Delta T\sim 30$ °C (avgT)



На рис. 10-12 представлены результаты анализа изменения газочувствительного отклика сенсорных сегментов мультисенсорных чипов #1, 2, 3, соответственно, после нанесения мембраны SiO_2 по отношению к отклику тех же сенсорных сегментов до нанесения мембраны SiO_2 .

Из рис. 10 видно, что нанесение мембраны SiO_2 однородной толщины (мультисенсорный чип #1) ведет, главным образом, к уменьшению отклика ко всем трем тестовым смесям газов, особенно в случае воздействия малых концентраций CO – до 0,3 от величины отклика сегментов чипа до нанесения мембраны. По-видимому, это снижение отклика к газу у сенсорных сегментов чипа #1 после нанесения однородной мембраны SiO_2 связано с уменьшением числа активных центров адсорбции на поверхности пленки $SnO_2:Pt$, отмеченным при обсуждении изменения сопротивления на воздухе (рис. 9). Возможное дополнительное увеличение проводящего шунтирующего слоя в пленке $SnO_2:Pt$ вследствие образования дефектов под воздействием ионного пучка также снижает газочувствительный отклик оксидного полупроводника.

При нанесении неоднородной мембраны SiO_2 толщиной 2-16 нм на мультисенсорный чип #2 произошли более существенные изменения газочувствительности сенсорных сегментов. Как видно из рис. 11, отклик к CO у большинства сегментов фактически не изменился после нанесения мембраны: имеется как некоторое увеличение (при приложении среднего градиента рабочей температуры), так и уменьшение (при приложении максимального градиента рабочей температуры). По-видимому, нанесение мембраны практически не влияет на доступ прохождения сравнительно малых молекул CO по сравнению с более сложными молекулами. Впрочем, можно отметить систематическое снижение отклика к CO при всех трех режимах нагрева в области сегментов #35-38 (до 0,4 от величины отклика до нанесения мембраны). В то же время отклик к ацетону и изопропанолу уменьшился наиболее значительно в области сегментов #25-38. Профиль распределения отклика по сенсорным сегментам в целом коррелирует с профилем распределения сопротивления на воздухе (рис. 9б).

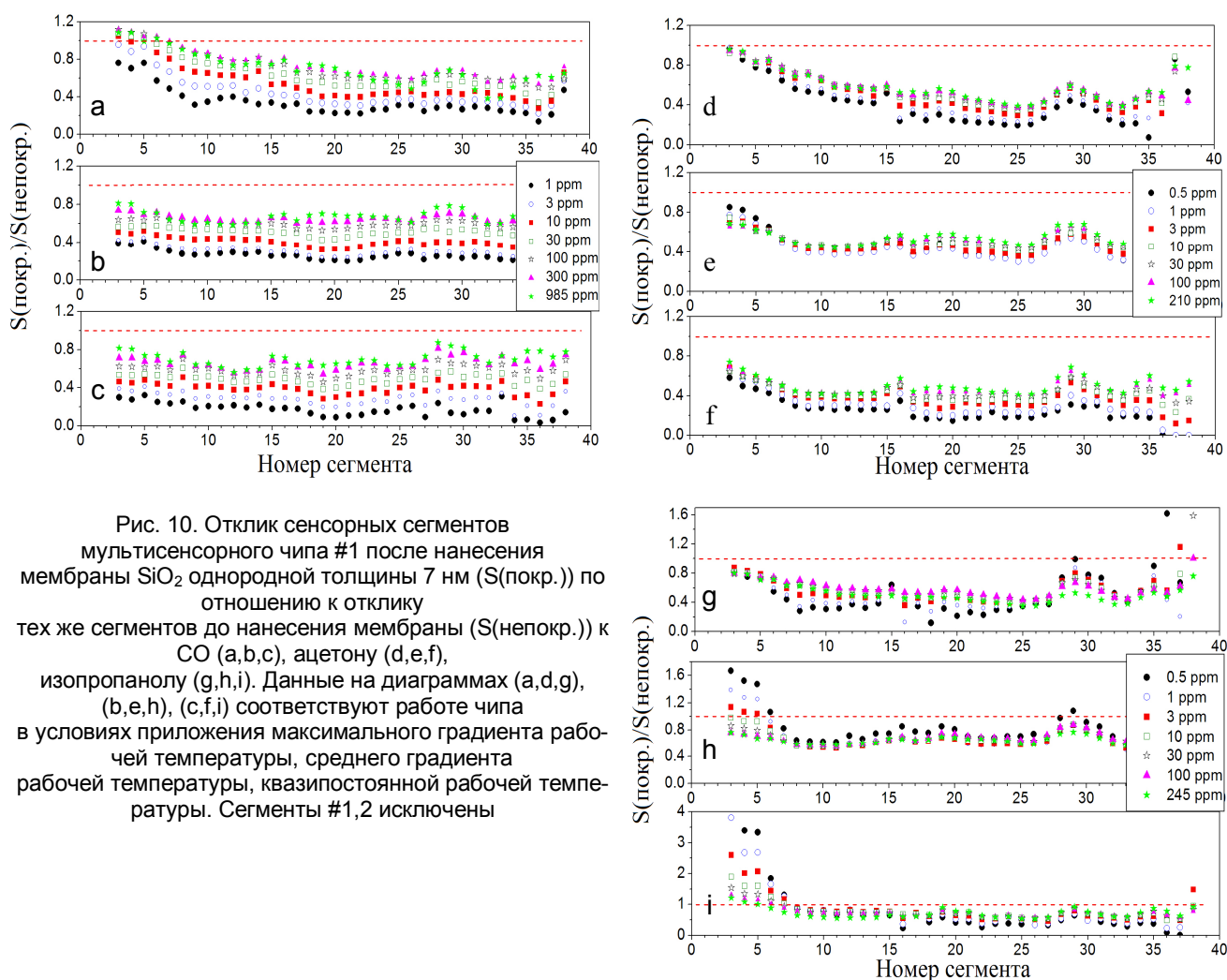


Рис. 10. Отклик сенсорных сегментов мультисенсорного чипа #1 после нанесения мембраны SiO_2 однородной толщины 7 нм ($S(\text{покр.})$) по отношению к отклику тех же сегментов до нанесения мембраны ($S(\text{непокр.})$) к CO (a,b,c), ацетону (d,e,f), изопропанолу (g,h,i). Данные на диаграммах (a,d,g), (b,e,h), (c,f,i) соответствуют работе чипа в условиях приложения максимального градиента рабочей температуры, среднего градиента рабочей температуры, квазипостоянной рабочей температуры. Сегменты #1,2 исключены

Нанесение неоднородной мембраны толщиной 2-24 нм на мультисенсорный чип #3 привело к значительному изменению газочувствительных свойств, отличающееся для разных газов (рис. 12). В случае воздействия CO и изопропанола сенсорный отклик сегментов в области чипа, соответствующей сегментам #1-30, увеличивается с максимумом для сегментов #24-26 (до 900 %). У сегментов #31-38 отклик снижается и в случае CO падает ниже величины отклика чипа до нанесения мембраны. В целом распределение изменения газового отклика в зависимости от номера сегмента коррелирует с распределением изменения сопротивления, отмеченным выше (рис. 9c): с увеличением сопротивления на воздухе отклик к газу возрастает. В то же время отклик к ацетону систематически увеличился после нанесения мембраны, главным образом, у сенсорных сегментов #24-38. Отклик к ацетону у остальных сенсорных сегментов практически не изменился. Эта особенность не имеет достаточно простого объяснения и требует дополнительного изучения.

На рис. 13 представлены результаты анализа изменения показателя α функции $S(C)$, аппроксимированной степенным законом, для мультисенсорного чипа #1 после нанесения мембраны SiO_2 однородной толщины. Как видно из рис. 13, показатель α у сегментов, покрытых мембраной SiO_2 в основном возрастает (до 80 %) по сравнению с показателем, измеренным у тех же сегментов до нанесения мембраны SiO_2 . Наибольшее изменение показателя наблюдается при воздействии CO .

Как видно из результатов, представленных на рис. 10, увеличение показателя, в первую очередь, может быть связано с уменьшением отклика к малым концентрациям газов. Для примера на рис. 14 показана зависимость $S(C)$ для сегмента #35 до и после нанесения мембраны SiO_2 при воздействии монооксида углерода.

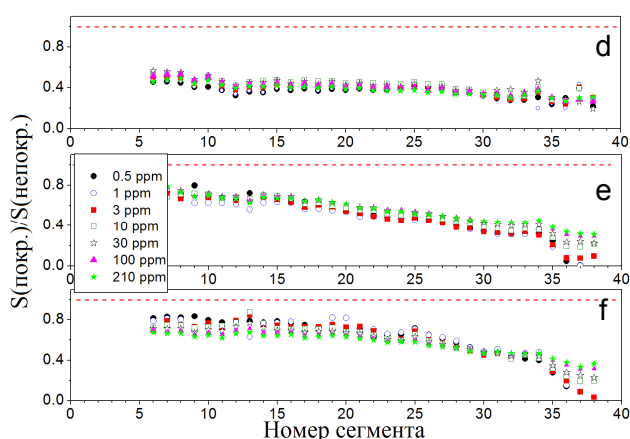
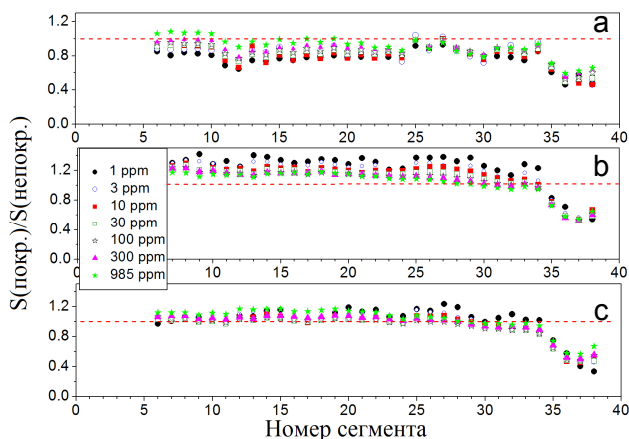


Рис. 11. Отклик сенсорных сегментов мультисенсорного чипа #2 после нанесения мембраны SiO₂ неоднородной толщины 2-16 нм (S(покр.)) по отношению к отклику чипа до нанесения мембраны (S(непокр.)) к CO (a,b,c), ацетону (d,e,f), изопропанолу (g,h,i). Данные на диаграммах (a,d,g), (b,e,h), (c,f,i) соответствуют работе чипа в условиях приложения максимального градиента рабочей температуры, среднего градиента рабочей температуры, квазипостоянной рабочей температуры. Сегменты #1-5 исключены

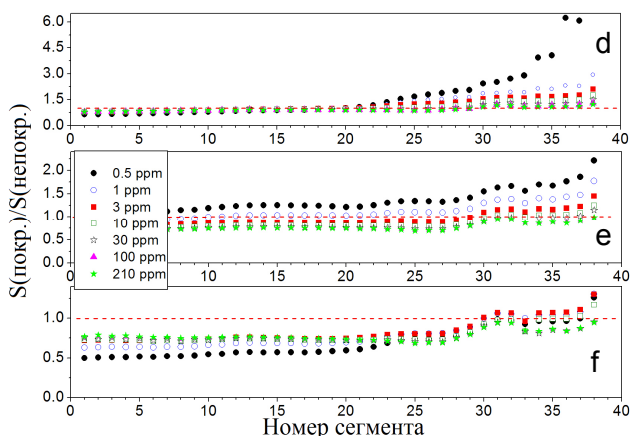
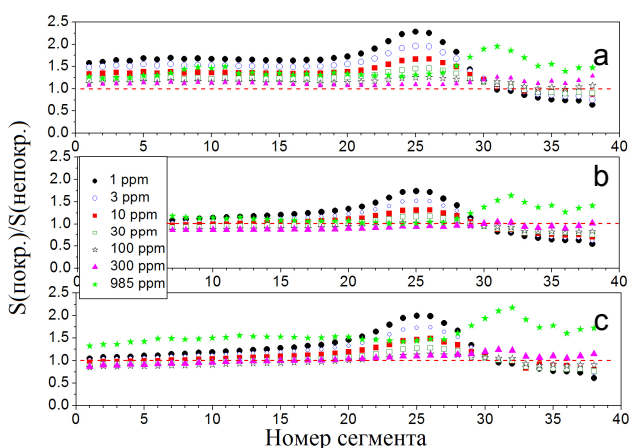
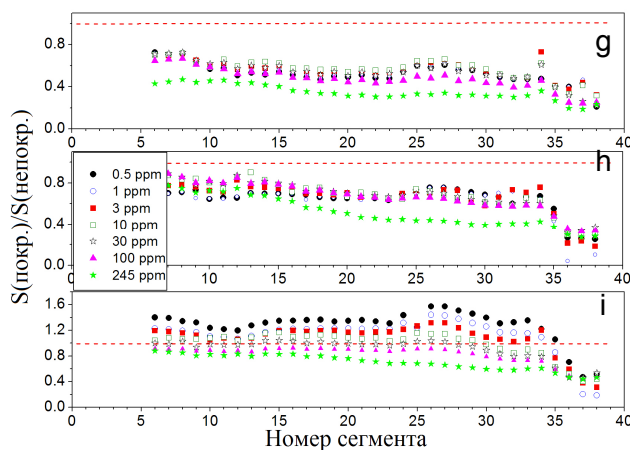
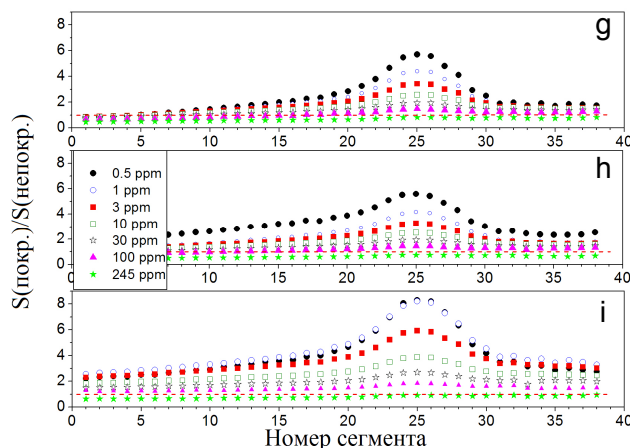


Рис. 12. Отклик сенсорных сегментов мультисенсорного чипа #3 после нанесения мембраны SiO₂ неоднородной толщины 2-24 нм (S(покр.)) по отношению к отклику чипа до нанесения мембраны (S(непокр.)) к CO (a,b,c), ацетону (d,e,f), изопропанолу (g,h,i). Данные на диаграммах (a,d,g), (b,e,h), (c,f,i) соответствуют работе чипа в условиях приложения максимального градиента рабочей температуры, среднего градиента рабочей температуры, квазипостоянной рабочей температуры



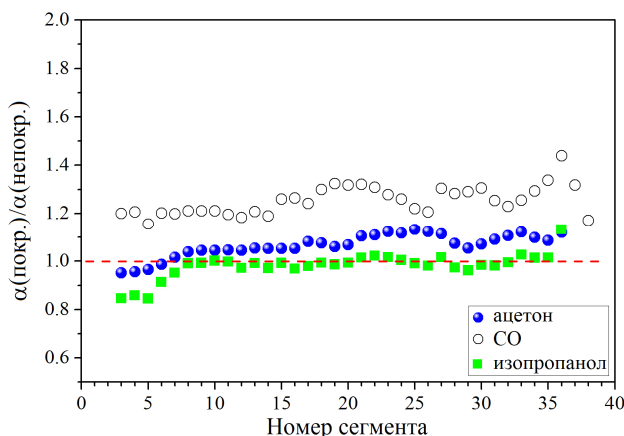
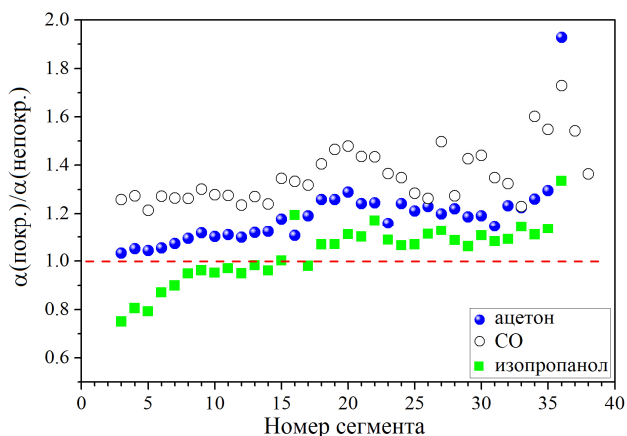


Рис. 13. Изменение показателя степени функции отклика сенсорных сегментов чипа #1 $S(C)$, аппроксимированной степенным законом, при нанесении мембраны SiO_2 однородной толщины 7 нм (α (покр.)) по отношению к показателю α (непокр.) функции отклика сенсорных сегментов до нанесения мембраны. Режимы функционирования чипа: а) квазипостоянная рабочая температура; б) приложение среднего градиента рабочей температуры; в) приложение максимального градиента рабочей температуры. Сегменты #1,2 исключены

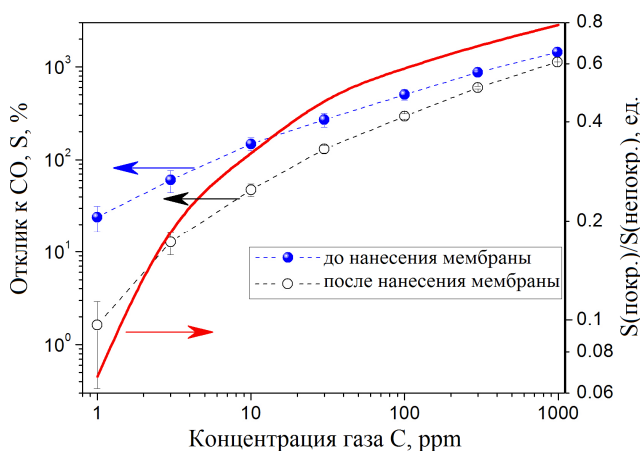
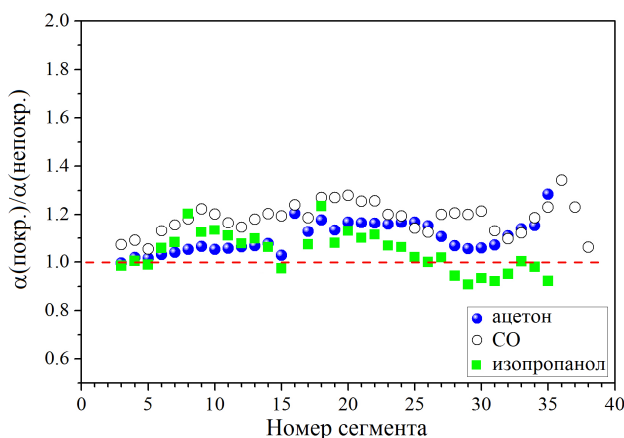


Рис. 14. Зависимость отклика S к CO от концентрации газа в воздухе для сегмента #35 мультисенсорного чипа #1 до и после нанесения мембраны SiO_2 однородной толщины. Режим нагрева чипа – квазипостоянный

Как видно из рис. 14, отклик пленки $\text{SnO}_2:\text{Pt}$, покрытой мембраной SiO_2 , значительно меньше (до порядка величины) к малым концентрациям газа. При воздействии высоких концентраций газа величина отклика сегмента, покрытого мембраной, приближается к величине отклика немодифицированной пленки $\text{SnO}_2:\text{Pt}$. Наклон зависимости $S(C)$ в двойном логарифмическом масштабе при уменьшении концентрации газа увеличивается, что приводит к общему возрастанию показателя α , наблюдаемому на рис. 13.

На рис. 15 представлены результаты анализа изменения показателя α для мультисенсорного чипа #2 после нанесения мембраны SiO_2 неоднородной толщины 2-16 нм. Для всех сегментов характерным является существенное систематическое уменьшение показателя α при воздействии этанола, достигающее в минимуме

0,82 от величины показателя, характеризующего сегменты до нанесения мембраны. В то же время изменение показателя α , характеризующего воздействие других исследованных газов, не превышает 5 %.

На рис. 16 приведена кривая изменения отклика одного из сенсорных сегментов, #28, в зависимости от концентрации этанола. Как видно из рисунка, отмеченное выше изменение наклона кривой $S(C)$ (в двойном логарифмическом масштабе) после нанесения мембраны SiO_2 не связано с уменьшением отклика сенсора к малым концентрациям газа, в отличие от кривой, характеризующей чип #1 (рис. 14). Наблюдаемое изменение α обусловлено изменением сопротивления сенсорных сегментов (рис. 9b), связанным с общим воздействием технологических процессов во время нанесения мембраны. Следует отметить, что в области нанесения мембраны (сегменты #24-38) существенной дифференциации показателя α , характеризующего три тестовых газа, не произошло. Подобное поведение показателя α наблюдалось также и для мультисенсорного чипа #3, на поверхность которого была нанесена мембрана SiO_2 неоднородной толщины 2-24 нм (рис. 17). Наибольшие из-

менения показателя α произошли для сегментов #24-38. Так же как и для чипа #2, в бóльшей степени изменился показатель, характеризующий воздействие изопропанола (до 0,6 от величины, измеренной для сенсорных сегментов до нанесения мембраны). На рис. 18 показана зависимость отклика сенсорного сегмента #25 к изопропанолу от его концентрации. Как и в случае чипа #2, отклик сегментов после нанесения мембраны к малым концентрациям газа увеличился, что привело к уменьшению показателя α .

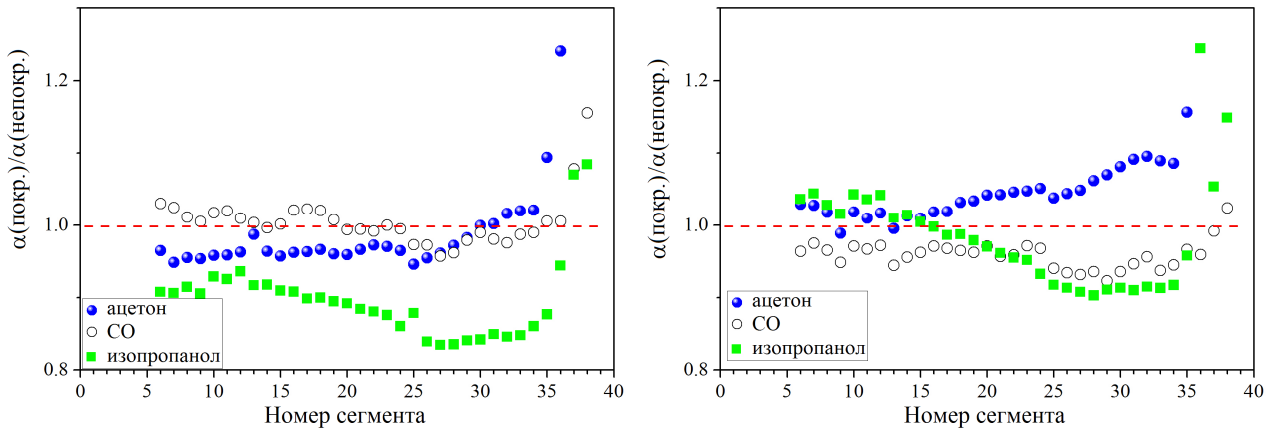


Рис. 15. Изменение показателя степени функции отклика сенсорных сегментов чипа #2 S(C), аппроксимированной степенным законом, при нанесении мембраны SiO₂ неоднородной толщины 2-16 нм (α (покр.) по отношению к показателю α (непокр.) функции отклика сенсорных сегментов до нанесения мембраны. Режимы функционирования чипа: а) квазипостоянная рабочая температура; б) приложение среднего градиента рабочей температуры; в) приложение максимального градиента рабочей температуры. Сегменты #1-5 исключены

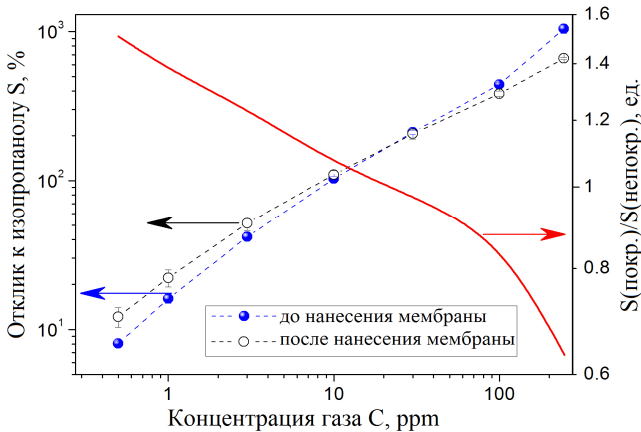
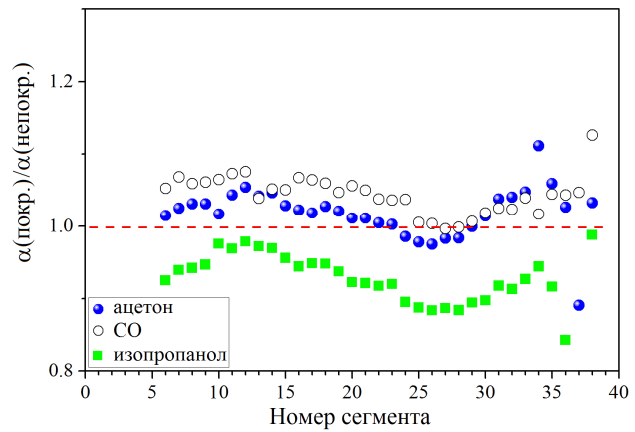


Рис. 16. Зависимость отклика S к изопропанолу от концентрации газа в воздухе для сегмента #28 мультисенсорного чипа #2 до и после нанесения мембраны SiO₂. Режим нагрева чипа: квазипостоянный

Как уже обсуждалось выше, это изменение связано, по-видимому, в первую очередь, с улучшением структуры поликристаллической пленки SnO₂:Pt. Но, пожалуй, основным результатом является то, что в области нанесения мембраны (сегменты #24-38) произошла существенная дифференциация показателя α , характеризующего три тестовых газа, что важно для распознавания этих газов.

Для проведения распознавания газов с помощью рассмотренных мультисенсорных чипов #1-3 до и после нанесения мембраны SiO₂ был применен метод линейно-дискриминантного анализа (ЛДА). Анализ проведен со стационарными значениями сопротивлений сегментов, полученными в тестовых атмосферах. Сигналы, полученные во время смены газовой среды, были исключены из анализа. Перед проведением обработки методом ЛДА сопротивления всех сенсорных сегментов предварительно нормировались на медианное значение по всей мультисенсорной системе согласно

$$R_i \rightarrow r_i = \log\left(\frac{R_i}{R_{med}}\right),$$

где r_i – нормированное сопротивление i -го сегмента пленки оксида олова, $i=[1,38]$; R_{med} – медианное значение из данных (сопротивлений) мультисенсорного набора при воздействии каждого газа. Такое

нормирование сигналов позволяет значительно устранить зависимость сопротивления сенсора от концентрации газа. Доверительная вероятность при анализе была установлена на уровне 0,9999. Для полноты и стабильности распознавания были использованы данные, характеризующие отклик чипов во всем диапазоне исследованных концентраций газов.

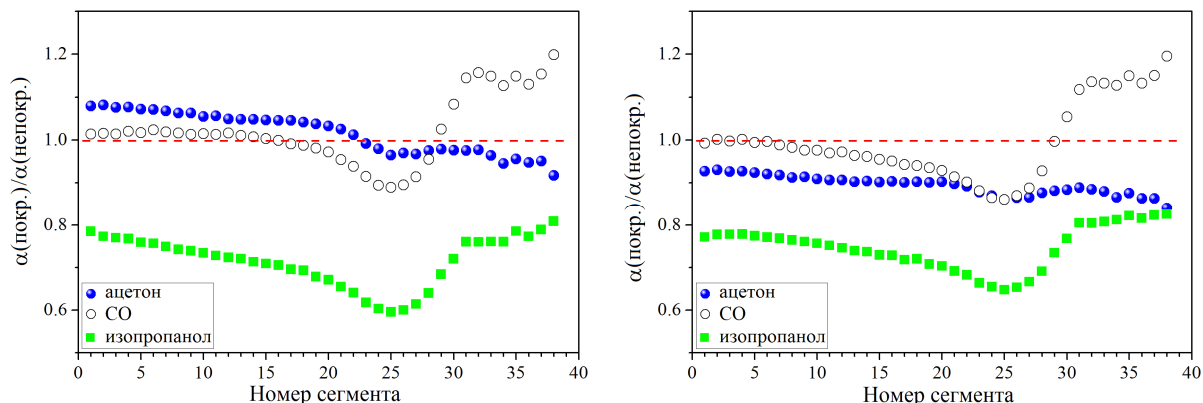


Рис. 17. Изменение показателя степени функции отклика сенсорных сегментов чипа #3 S(C), аппроксимированной степенным законом, при нанесении мембраны SiO₂ неоднородной толщины 2-24 нм (α (покр.)) по отношению к показателю α (непокр.) функции отклика сенсорных сегментов до нанесения мембраны. Режимы функционирования чипа: а – квазипостоянная рабочая температура; б – приложение среднего градиента рабочей температуры; с – приложение максимального градиента рабочей температуры

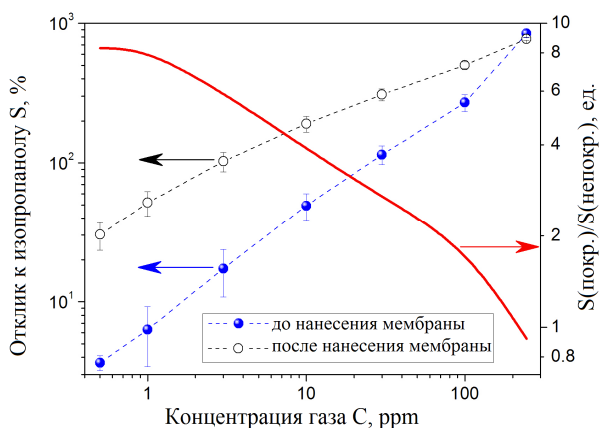
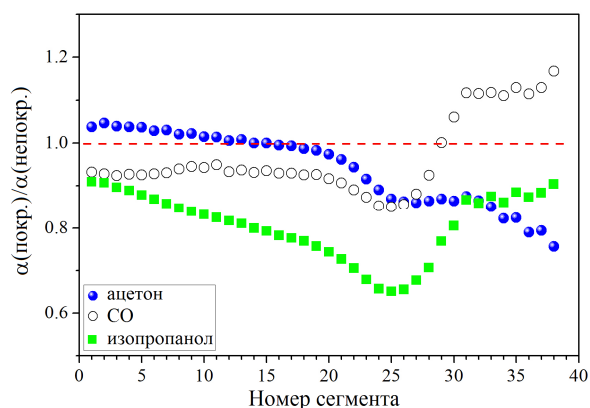


Рис. 18. Зависимость отклика S к изопропанолу от концентрации газа в воздухе для сегмента #25 мультисенсорного чипа #3 до и после нанесения мембраны SiO₂.

Режим нагрева чипа: квазипостоянный

Для примера на рис. 19 представлены результаты ЛДА-анализа мультисенсорного сигнала чипа #3. Представлена плоскость 1-й и 2-й ЛДА компонент. Из рисунка видно, что при увеличении неоднородности распределения рабочей температуры по подложке чипа кластеры данных, соответствующие газовым смесям, расходятся от центра системы координат (рис. 19а). То есть нанесение мембраны SiO₂ неоднородной толщины увеличивает расстояние кластеров данных от центра системы координат, позволяя более уверенное распознавание газов. В таблице обобщены результаты ЛДА анализа для всех трех мультисенсорных чипов до и после нанесения мембраны SiO₂.

Как видно из полученных результатов, в случае нанесения мембраны SiO₂ однородной тол-

щины на чип #1 среднее Махаланобисово расстояние уменьшается при всех температурных режимах. Мембрана SiO₂ неоднородной толщины 2-17 нм практически не изменяет среднее Махаланобисово расстояние между кластерами данных для чипа #2. В то же время нанесение мембраны SiO₂ неоднородной толщины 2-24 нм существенно увеличивает среднее Махаланобисово расстояние между кластерами данных для чипа #3.

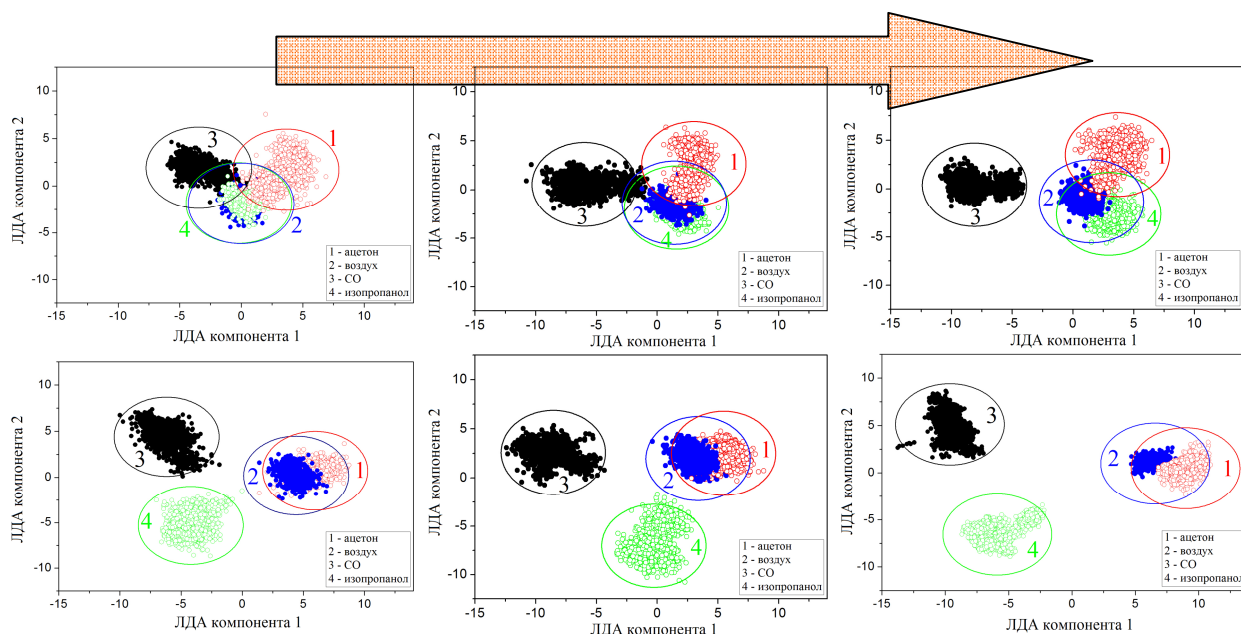


Рис. 19. Результаты ЛДА анализа сигналов мультисенсорного чипа #3 до (а) и после (б) нанесения мембраны SiO₂ неоднородной толщины 2÷24 нм. Слева направо приведены диаграммы для различных режимов работы чипа: квазипостоянный нагрев, приложение среднего градиента температуры, приложение максимального градиента температуры

Таблица 1

Среднее Махаланобисово расстояние между кластерами откликов, характеризующих тестовые газы, мультисенсорных чипов #1-3

чип	#1						#2							
	Распределение температуры		Const		Avg		Max		Const		Avg		Max	
Мембрана, нм	-	7	-	7	-	7	-	2-17	-	2-17	-	2-17	-	2-17
D _{avg}	6,48	4,63	7,35	5,88	7,20	5,73	5,16	5,05	6,23	5,50	9,32	9,02		
чип	#3													
	Распределение температуры		Const		Avg		Max							
Мембрана, нм	-	2-24	-	2-24	-	2-24								
D _{avg}	3,11	6,30	3,95	6,72	5,27	8,96								

Отмеченные тенденции визуализированы на рис. 20, где представлено изменение среднего Махаланобисова расстояния между кластерами, характеризующими тестовые газы, для мультисенсорных чипов #1-3 после нанесения мембраны SiO₂ в трех температурных режимах. Как видно из рис. 20, нанесение мембраны SiO₂ неоднородной толщины 2÷24 нм оказывается наиболее эффективным для увеличения распознавания газов. В этом случае среднее Махаланобисово расстояние увеличивается максимально в 2,8 раза.

Полученные результаты объясняются изменением величины отклика к газам у сенсорных сегментов после нанесения мембраны SiO₂. Действительно, в случае мембраны SiO₂ однородной толщины наблюдается существенное уменьшение величины сенсорного отклика (рис. 10), что фактически приводит к сближению кластеров данных, соответствующих тестовым газам, с кластером данных, соответствующим чистому воздуху. При нанесении мембраны SiO₂ неод-

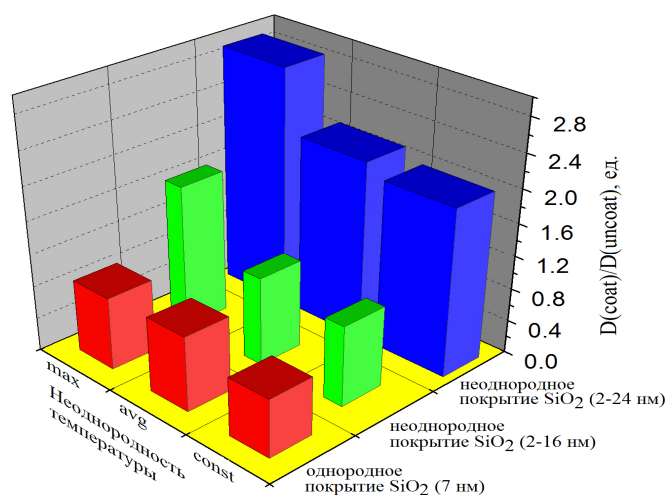


Рис. 20. Изменение среднего Махаланобисова расстояния между кластерами, характеризующими тестовые газы, для мультисенсорных чипов #1-3 после нанесения мембраны (D(coat)) по сравнению с Махаланобисовым расстоянием тех же чипов до нанесения мембраны (D(uncoat)) при квазипостоянном нагреве

нородной толщины 2-16 нм на чип #2 отклик сенсорных сегментов к газам существенно не изменяется (рис. 11). Наибольшие вариации сенсорного отклика к газам отмечены для сегментов чипа #3 (рис. 12), что и позволило получить значительное улучшение распознавания тестовых газовых смесей.

Таким образом, в заключение можно отметить, что нанесение мембранного покрытия SiO_2 варьируемой толщины поверх газочувствительной пленки оксида олова при формировании однокристалльных мультисенсорных систем позволяет существенно увеличить селективность распознавания газов. При этом возможно прохождение следующих процессов: 1) покрытие части адсорбционных центров пленки оксида олова кластерами SiO_2 ; 2) ионная очистка поверхности SnO_2 от адсорбированных комплексов (кислород, гидроксильные группы, вода); 3) образование дополнительных дефектов в приповерхностном слое SnO_2 за счет ионной бомбардировки. Все эти процессы влияют на газочувствительность слоя оксида олова. При нанесении мембранного покрытия однородной толщины (около 7 нм) происходит равномерное уменьшение чувствительности сенсорных сегментов мультисенсорного чипа, по-видимому, вследствие увеличения поперечного сечения проводящего канала в пленке за счет увеличения дефектности газочувствительного полупроводника. В результате газораспознавательная способность однокристалльного мультисенсорного чипа также снижается. При нанесении мембраны неоднородной толщины (в диапазоне от 2 до 24 нм) при использовании теневой маски во время ионно-лучевого осаждения электрические свойства поверхности пленки SnO_2 в области воздействия ионным пучком существенно модифицируются. Наблюдается как увеличение, так и снижение газочувствительности сенсорных сегментов, что, по-видимому, связано, в первую очередь с характером воздействия ионного пучка (угол падения к пленке и энергия ионов). Медленные Ag^+ ионы, падающие под достаточно косым углом к поверхности, способствуют очистке поверхности SnO_2 и улучшению газочувствительности, в то время как быстрые Ag^+ ионы, так же как и в случае нанесения мембраны однородной толщины, увеличивают концентрацию собственных дефектов в пленке оксида олова и снижают ее газочувствительность. За счет внесения неоднородности электрических свойств сенсорных сегментов газораспознавательная способность мультисенсорного чипа увеличивается, причем дополнительное приложение неоднородного нагрева к чипу, имеющему мембрану неоднородной толщины, также позволяет увеличить селективность мультисенсорного отклика к газам одного вида (восстановители).

Полученные результаты могут найти применение в микроэлектронном производстве при создании интегральных мультитерминальных устройств.

Авторы благодарят за сотрудничество сотрудников групп д-ра М. Зоммера и д-ра М. Брунса (Технологический Институт Карлсруэ, Германия). Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.1219.

ЛИТЕРАТУРА

1. Persaud K. Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose / K. Persaud, G. Dodd // Nature. 1982. V. 299. P. 352-355.
2. Gardner J. W. Microsensors: principles and applications / J.W. Gardner. Chichester : Wiley, 1994. 331 p.
3. Сысоев В.В. Мультисенсорные системы распознавания газов типа «электронный нос»: краткий обзор литературы / В.В. Сысоев, Ю.А. Зюрюкин // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. № 2(24). Вып. 1. С. 111-119.
4. Goschnick J. An electronic nose for intelligent consumer products based on a gas analytical gradient microarray / J. Goschnick // Microelectronic Engineering. 2001. V. 57-58. P. 693-704.
5. The temperature gradient effect on gas discrimination power of metal-oxide thin-film sensor microarray / V.V. Sysoev, I. Kiselev, M. Frietsch, J. Goschnick // Sensors. 2004. T.4. С. 37-46.
6. Сысоев В.В. Текстурированные пленки оксида олова для микросистем распознавания газов / В.В. Сысоев, Н.И. Кучеренко, В.В. Кисин // Письма в Журнал технической физики. 2004. Т. 30. Вып. 18. С. 14-20.
7. Single-nanobelt electronic nose: engineering and tests of the simplest analytical element / V.V. Sysoev, E. Strelcov, M. Sommer [et al] // ACS Nano. 2010. V. 4. Iss. 8. P. 4487-4494.
8. Goschnick J. Non-uniform SiO_2 membranes produced by ion beam-assisted chemical vapor deposition to tune WO gas sensor microarrays / J. Goschnick, M. Frietsch, T. Schneider // Surface and Coatings Technology. 1998. V. 108-109. P. 292-296.
9. Schlesinger R. Quality control of gas sensor microarrays using Auger electron spectroscopy / R. Schlesinger, M. Bruns // Thin Solid Films. 2000. V. 366. P. 265-271.
10. Surface analytical characterization of SiO_2 gradient membrane coatings on gas sensor microarrays / M. Bruns, M. Frietsch, E. Nold [et al] // J. Vacuum Sci. Technology A. 2003. V. 21. P. 1109-1114.
11. Scanning transmission type imaging and analysis (EDX) of protein supported metallic nanoparticles / W. Habicht, S. Behrens, N. Boukis, E. Dinjus // G. I. T. Imaging and Microscopy. 2001. V. 1. P. 42-44.

12. Jaksch H. High resolution, low-voltage SEM for true surface imaging and analysis / H. Jaksch, J.P. Martin // Fresenius J. Anal. Chem. 1995. V. 353. P. 378-382.

Сысоев Виктор Владимирович –
доктор технических наук, профессор кафедры
«Физика» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Victor V. Sysoev –
Dr.Sc., Professor
Department of Physics
Gagarin Saratov State Technical University

Киселев Илья Викторович –
кандидат физико-математических наук,
научный сотрудник института микротехнологий
Технологического института Карлсруэ

Ilya V. Kiselev –
Ph. D., Researcher
Institute of Microstructure Techniques,
Karlsruhe Institute of Technology

Статья поступила в редакцию 15.05.12, принята к опубликованию 06.09.12

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 541.13:615.4

И.Ю. Гоц, А.С. Климов, А.С. Маджуро, Г.Г. Нечаев

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ ВОДЫ В ОРГАНИЧЕСКОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ НА ДИФФУЗИОННО-КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СТРУКТУРУ Al-Sm СПЛАВА ПРИ ПОТЕНЦИАЛАХ СОРБЦИИ ВОДОРОДА

Установлена взаимосвязь между фазовыми превращениями и диффузионно-кинетическими характеристиками формирования водородсодержащего слоя сплава Al-Sm-H в потенциостатических условиях. Найдено, что скорость образования гидридного слоя уменьшается в ряду V_{H_2O}/V_{DMFA} : 8/2; 7/3; 6/4; 4/6.

Al-Sm-электроды, взаимодействие с водородом, органические растворители, алюминий, самарий, диметилформамид

I.Yu. Gots, A.S. Klimov, A.S. Madzhulo, G.G. Nechaev

IMPACT OF THE WATER RATIO IN THE ORGANIC ELECTROLYTE ON THE DIFFUSION- KINETIC PROPERTIES AND STRUCTURE OF THE ALLOY AT THE POTENTIALS OF HYDROGEN SORPTION

Interrelation has been established between the phase transformation and diffusion-kinetic characteristics of the Al-Sm-H alloy formation under potentiostatic conditions. It has been found that the velocity of Al-Sm-H alloy formation reduces in the succession of V_{H_2O}/V_{DMFA} : 8/2; 7/3; 6/4; 4/6.

Al-Sm-electrodes, interaction with hydrogen, organic solvents, aluminum, samarium, dimethylformamide

Введение

Ограниченный объем запасов ископаемых органических топлив в сочетании с глобальными экологическими проблемами обуславливают огромный интерес к использованию водорода в качестве универсального энергоносителя для стационарных и мобильных энергоустановок во многих отраслях промышленности, аварийных энергоустановок в медицинских учреждениях.

Кардинальное изменение энергетической политики и сокращение потребления традиционных энергоносителей (нефти, природного газа и угля) является чрезвычайно важной проблемой, затрагивающей общечеловеческие и экономико-политические интересы как нашей страны, так и всего мира. От того, насколько успешно решается проблема компактного и безопасного хранения водорода, зависит успешная реализация концепции водородной энергетики и технологии в целом.

Серьезной альтернативой таким методам хранения и транспортировки водорода, как физический, химический и адсорбционный, является металлогидридный способ, т.е. хранение водорода в форме гидридов металлов или интерметаллических соединений (ИМС). Важное преимущество металлогидридного метода хранения водорода — высокая безопасность. При комнатной температуре давление газообразного водорода над большинством металлогидридов редко превышает несколько атмосфер. Данная особенность наряду с многофункциональностью металлогидридных систем делает их незаменимыми в лабораторной практике [1-3].

Целью нашей работы явилось исследование влияния добавок органического растворителя в воду на электрохимические свойства сплава системы Al-Sm-H.

Методика эксперимента

Пленочные Al-Sm электроды получали обработкой Al (99,99%) по методу катодного внедрения в 0,5 М растворе салицилата самария в диметилформамиде (ДМФ) при температуре 25°C в течение 1 часа при $E_{\text{кп}} = -2,9$ В (относительно неводного хлорсеребряного электрода). Последующее электрохимическое наполнение Al-Sm электродов водородом проводили в смеси $\text{H}_2\text{O} + \text{ДМФ}$ при соотношениях 1:9; 2:8; 3:7; 4:6; 5:5; 6:4; 7:3; 8:2 в течение 0,5 часа при температуре 25°C и $E_{\text{кп}} = -1,5$ В (относительно стандартного насыщенного водного хлорсеребряного электрода).

Поверхность электродов исследована методом оптической микроскопии с использованием прибора АГПМ 6М и программы графической обработки изображений «Металлограф». Программа позволяет преобразовывать изображение в бинарное и вычисляет значение пористости как отношение площади, занимаемой порами, к площади всего поля изображения. Поле изображения, получаемого с использованием АГПМ-6М, составляло 430 мкм.

Микрорельеф поверхности электродов исследован с использованием сканирующего мульти-микроскопа СММ-2000 в режиме атомно-силовой микроскопии.

Все электрохимические исследования в условиях заданного гальваностатического и потенциостатического режимов были проведены на импульсном потенциостате ПИ-50-1.1 и программаторе ПР-8. Регистрация тока и потенциала во времени до и после процесса сорбции водорода осуществлялась с помощью самопишущего потенциометра Н-307/1. Определение ρ_{H_2} приэлектродного слоя проводили с помощью микросурьмяного электрода и регистрировали с помощью комбинированного цифрового прибора ЦЗ00.

Обсуждение результатов

В настоящее время принимается, что катодное выделение водорода в растворах кислот происходит через следующие стадии:

разряд ионов гидроксония (реакция Фольмера)



электрохимическая десорбция (реакция Гейровского)



рекомбинация (реакция Тафеля)



Стадии (2) и (3) могут протекать одновременно.

Анализ зависимости $i-t$ кривых (рис. 1) внедрения водорода в Al-Sm электроды в координатах $i-\sqrt{t}$ (рис. 2а), $i-1/\sqrt{t}$ (рис. 2б) позволил рассчитать константу внедрения K_v , $C_0\sqrt{D}$, ток в момент включения $i(t=0)$.

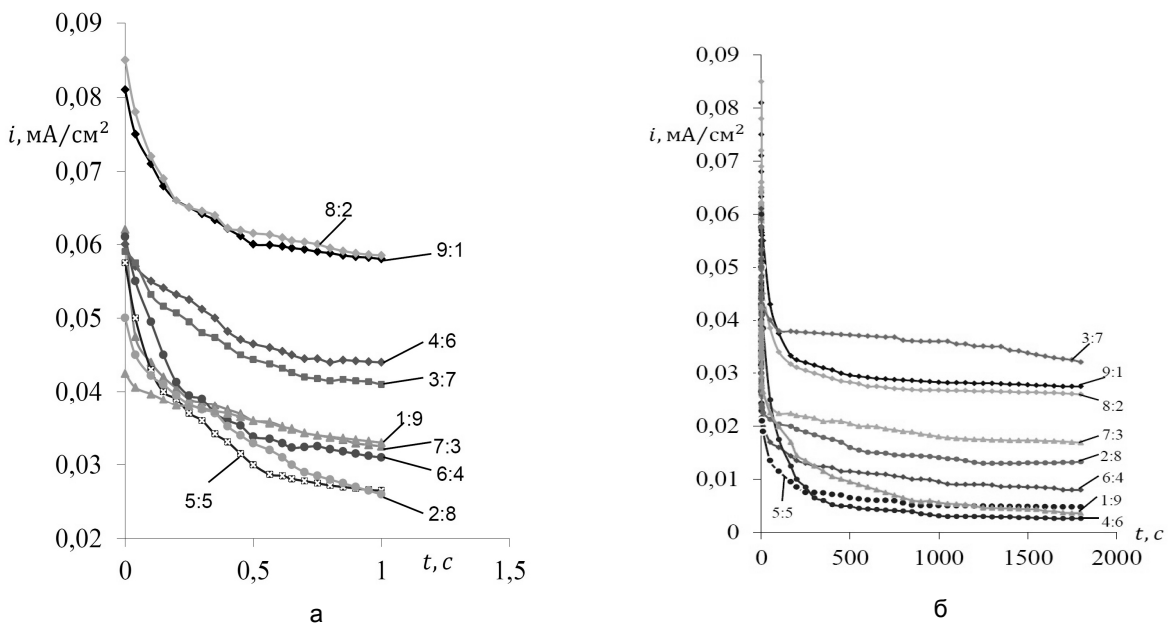


Рис. 1. Зависимость хода i, t -кривых сорбции водорода на пленочных Al-Sm электродах при $E_{\text{кп}} = -1,6$ В от соотношения воды и диметилформамида в растворе

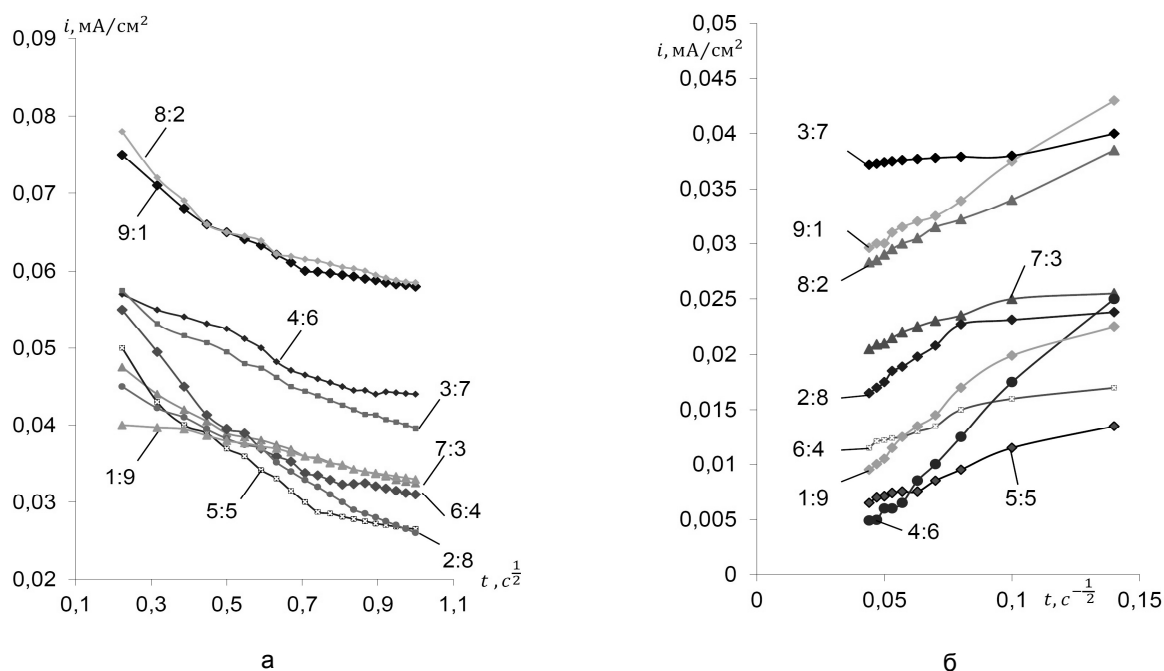


Рис. 2. Зависимости i, \sqrt{t} (а) и $i, 1/\sqrt{t}$ (б) для Al-Sm электрода при $E_{кп} = -1,6$ В и температуре 25°C в растворе воды в диметилформамиде при разных объемных соотношениях $V_{\text{H}_2\text{O}}:V_{\text{DMF}}$.

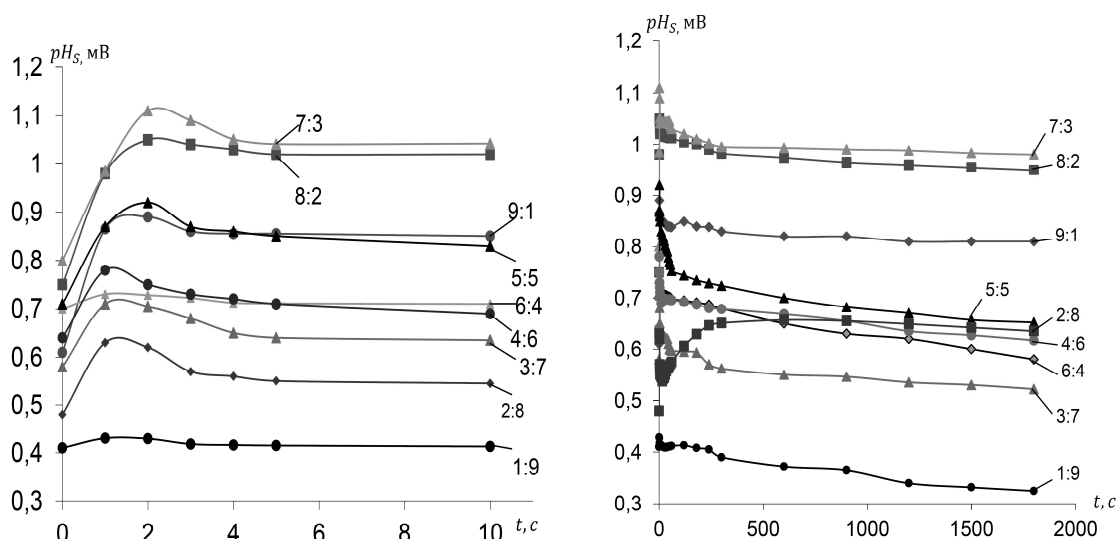


Рис. 3. Зависимость хода кривых pH_s приэлектродного слоя от времени сорбции водорода на Al-Sm электродах при $E_{кп} = -1,6$ В и температуре 25°C в растворе воды и диметилформамида при разных объемных соотношениях $V_{\text{H}_2\text{O}}:V_{\text{DMF}}$

Вследствие выше сказанного непосредственно в ходе электролиза было измерено изменение значения pH приэлектродного слоя с помощью микросурьмяного электрода (рис. 3). Как видно из зависимости pH_s-t , наибольшее защелачивание приэлектродного слоя в начальный момент времени протекания процесса наблюдается в электролите при соотношении воды и диметилформамида (7:3, 6:4 и 8:2).

Согласно данным табл. 1 наибольшие значения скорости насыщения водородом Al-Sm характерны для растворов при следующем соотношении воды в ДМФ: (1:9, 9:1, 8:2, 4:6).

Двухкомпонентная система Al-Sm, состоящая из гидридообразующего металла редкоземельного ряда и катализатора гидридообразования, допускает частичную замену одних элементов другими: вследствие взаимодействия металлов с образованием интерметаллических соединений смягчают-

ся условия образования гидридов. Это приводит к изменению скорости взаимодействия с водородом. В результате катодной обработки сплава Al-Sm в растворах воды в ДМФ образуются соединения водорода предположительно следующего состава: AlH_3 , SmH_3 , SmH_2 . Это согласуется с литературными данными [4-6] и исследованиями, проведенными нами на кафедре неорганической химии СГУ им. Чернышевского методами вторично-ионной масс-спектрографии и рентгенофазового анализа (табл. 2).

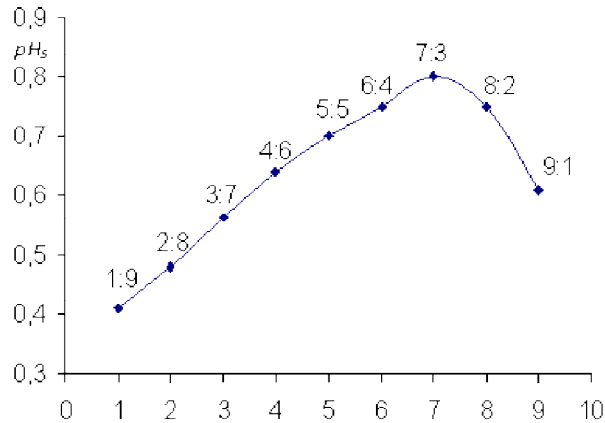


Рис.4. Зависимость pH_s приэлектродного слоя в начальный момент времени от объемных соотношений $V_{\text{H}_2\text{O}}:V_{\text{ДМФ}}$ в электролите сорбции водорода на Al-Sm электродах при $E_{\text{кп}}=-1,6$ В и температуре 25°C

Таблица 1

Зависимость диффузионно-кинетических характеристик процесса формирования слоя Al-Sm-H на Al-Sm-электроде при различных соотношениях воды и диметилформамида

$\text{H}_2\text{O}/\text{ДМФ}$	$K_B \cdot 10^5, \text{A} \cdot \text{cm}^2/\text{c}^{1/2}$	$i_0, \text{mA}/\text{cm}^2$	$C_0 \cdot D \cdot 10^{10}, \text{моль}/\text{cm}^2 \cdot \text{c}^{-1/2}$	$i_{\text{стац}}, \text{mA}/\text{cm}^2$
[9:1]	13,9	0,081	1,43	0,0278
[8:2]	10,6	0,086	1,09	0,0264
[7:3]	5,2	0,053	0,53	0,0173
[6:4]	5,7	0,063	0,58	0,0085
[5:5]	7,3	0,058	0,75	0,0048
[4:6]	20,9	0,059	2,15	0,0028
[3:7]	2,9	0,063	0,3	0,0338
[2:8]	6,8	0,049	0,24	0,0131
[1:9]	13,5	0,041	1,39	0,0435

Согласно изображениям, полученным при сканировании поверхности (рис. 5) наиболее мелкую структуру имеет поверхность электродов, обработанных в электролите с объемным соотношением $\text{H}_2\text{O}/\text{ДМФ}$ 7:3.

Таким образом, можно предположить, что внедрение Al в PЗЭ протекает по реакции



Согласно данным оптической микроскопии (которая была проведена на кафедре Биотехнические и медицинские аппараты и системы СГТУ), в ряду $V_{\text{H}_2\text{O}}:V_{\text{ДМФ}}$ (8:2; 7:3; 6:4; 4:6) на поверхности гидрированного слоя сплава растет слой продуктов разряда молекул воды – гидроксо соединений самария и алюминия, степень кристалличности которых и плотность упаковки тем больше, чем ниже содержание воды в растворе.

Таблица 2

Данные рентгеноструктурного анализа системы Al-Sm-H

Образец Al-Sm-H				
Фаза	hkl	D, Å	Параметр решетки a, Å	Номер карточки
Al-доминирующий	111	2,328	4,04533	01.04.87
	200	2,025		
	220	1,43024(dα)		
α- Al ₂ O ₃	012	3,490	4,04533	01.04.87
	104	2,530		
	113	2,087		
	024	1,731		
	116	1,606		
	124	1,404		
Al ₂ Sm	111	4,54		28-32
	220	2,809		
	311	2,413		
	422	1,615		
Sm AL	100	3,760		17-718
	110	2,610		
	111	2,144		
	200	1,857		
	210	1,673		
	211	1,521		
AL Sm ₂	111	3,760		30-38
	210	2,809		
	211	2,686		
	020	2,610		
Sm	100	3,094		01.06.19
	333	0,898		
	211	2,809		
	221	2,686		
	101	1,805		
	432, 220	1,536		
	666	1,451		
Sm ₃ H ₇	101	3,094		36-941
ALH ₃	012	3,214		23-761

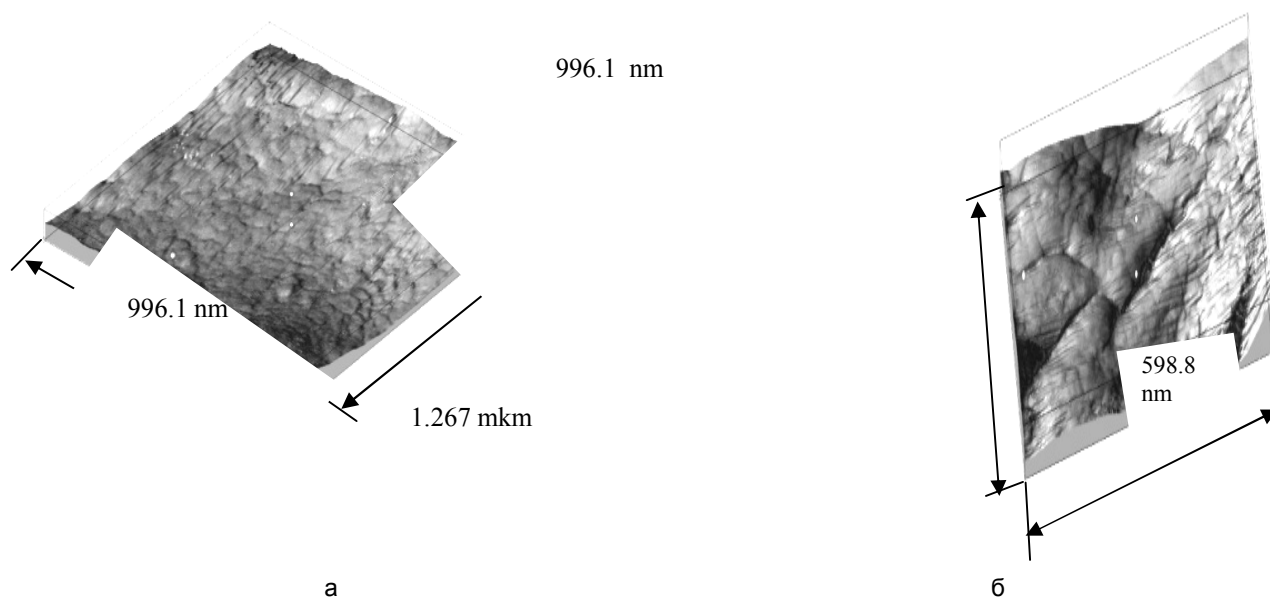


Рис. 5. Объемные изображения участков образцов после сорбции водорода на Al-Sm электродах из электролитов соотношения H₂O/ДМФ: а) 7:3, б) 2:8

Таблица 3

Значения величины пористости поверхностных слоев сформированных сплавов системы Al-Sm-H

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Соотношение воды и ДМФ	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4	7:3	8:2	9:1
Пористость, %	12	9	16	9	29	16	18	26	30

Выводы

1. Показана возможность формирования интерметаллических соединений и гидридных слоев на Al-P3Э электродах электрохимическим способом.

2. В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что в электролитах состава (1:9, 9:1, 8:2, 4:6) процесс гидридообразования протекал с большей скоростью, чем в электролитах другого соотношения. На это указывают диффузионно-кинетические характеристики и изменение микроструктуры.

3. Высказано предположение возможного механизма образования гидридов в смеси воды и ДМФ в зависимости от их объемного соотношения.

4. Полученные электрохимическим способом электроды могут использоваться как накопители водорода наряду со сплавами, полученными термическими и физическими способами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. М.: Физматлит, 2005. 416 с.

2. Тарасов Б.П. Водородная энергетика: прошлое, настоящее, виды на будущее / Б.П. Тарасов, М.В. Лотоцкий // Рос. хим. журн. 2006. Т. L. № 6. С. 5.

3. Тарасов Б.П. Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумулирования водорода / Б.П. Тарасов, М.В. Лотоцкий, В.А. Яртысь // Рос. хим. журн. 2006. Т. L. № 6. С. 34.

4. Колачев Б.А. Сплавы – накопители водорода / Б.А. Колачев, Р.Е. Шалин, А.А. Ильин. М.: Металлургия, 1995.

5. Гусев А.Л. Особенности механизмов образования водородных соединений металлов в электрохимических системах / А.Л. Гусев, Ю.Н. Шалимов, Е.Л. Харченко // Альтернативная энергетика и экология. 2007. №3(47). С. 43-54

6. Шалимов Ю.Н. Оптимизация электрохимического процесса обработки алюминиевой фольги в производстве конденсаторов / Ю.Н. Шалимов, И.М. Мандрыкина, Ю.В. Литвинов. Воронеж: ВГТУ, 2000.

Гоц Ирина Юрьевна –

кандидат химических наук, доцент кафедры «Технологии электрохимических производств» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Irina Yu. Gots –

Ph. D., Associate Professor
Department of Electrochemical Production Technologies
Engels Institute of Technology
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Климов Александр Сергеевич –

аспирант кафедры «Технологии электрохимических производств» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander S. Klimov –

Postgraduate
Department of Electrochemical Production Technologies
Engels Institute of Technology (branch)
Gagarin Saratov State Technical University

Маджуло Анна Сергеевна –

студентка 5 курса кафедры «Технологии электрохимических производств» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Anna S. Madzhulo –

Undergraduate
Department of Electrochemical Production Technologies
Engels Institute of Technology (branch)
Gagarin Saratov State Technical University

Нечаев Геннадий Георгиевич –
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Биотехнические и медицинские аппараты
и системы» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Gennady G. Nechaev –
Ph. D., Associate Professor
Department of Biotechnological
and Medical Devices and Systems
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 25.07.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 541.13:615.4

Н.Л. Левкина, М.Ю. Трофимов, Т.П. Устинова

ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИАМИДА 6

Показана возможность направленного регулирования структуры и свойств полиамида 6 введением субмикроразмерной модифицирующей добавки – 1% тетратитаната калия $K_2O \cdot 4TiO_2$. Методами инфракрасной спектроскопии, хромато-масс-спектрометрии и рентгеноструктурного анализа проведена идентификация состава и доказано изменение надмолекулярной структуры модифицированного ПА 6. Установлено, что доля упорядоченных областей возрастает в 2,5 раза при уменьшении размеров кристаллитов на 30%, что обеспечивает повышение физико-механических свойств ПА 6.

Полиамид, тетратитанат калия, модификация, надмолекулярная структура, физико-механические свойства

N.L. Levkina, M.Yu. Trofimov, T.P. Ustinova

ASSESSMENT OF STRUCTURAL TRAITS AND PROPERTIES OF THE MODIFIED POLYAMIDE PA-6

We attempted to assess the possibility of regulating the structure and properties of the polyamide PA 6 by means of introduction of the submicroscopic modifying additive, such as 1% potassium tetratitanate $K_2O \cdot 4TiO_2$. Using the methods of infra-red spectroscopy, chromatic mass-spectrometry and X-ray structural analysis, we identified the composition and proved the changes occurring in the supramolecular structure of the modified PA 6. Experience has shown 2.5 times increase in the proportion of the orderly-structured regions under 30% decrease of crystallite size, which ensures improvement in the physical and mechanical properties of PA 6.

Polyamide, potassium tetratitanate, modification, synthesis of polymers, modification, supramolecular structure, physical and mechanical properties

К числу современных тенденций в области модификации полимерных материалов, в том числе полиамида 6 (ПА 6), относится использование нано- и субмикроразмерных компонентов для направленного регулирования их структуры и свойств. Особый интерес для полимеров в этом плане представляют такие перспективные модифицирующие системы как полититанаты калия [1, 2].

Полититанаты калия с общей формулой $K_2O \cdot nTiO_2$ представляют новый вид функциональных материалов для различных областей использования. Величина n определяет эксплуатационные свойства титанатов и направления их применения. Титанаты калия с $n = 6-8$ имеют туннельную волокнистую структуру и характеризуются высокими прочностными свойствами, хемостойкостью, хорошими диэлектрическими характеристиками. Титанаты калия с $n = 2-4$ отличаются слоистой структурой и используются в качестве модификаторов и наполнителей, сорбционных и антифрикционных материалов.

Эффективным техническим решением при получении модифицированного ПА 6 с повышенными эксплуатационными характеристиками является введение модифицирующих добавок на стадии синтеза полимера [3-6].

В данной работе тетратитанаты калия применяли как модифицирующие добавки, вводимые на стадии синтеза полимера, для повышения комплекса свойств ПА 6. Для оценки структурных особенностей ПА-6, содержащего 1% тетратитаната калия, использовали методы инфракрасной спектроскопии, хроматомасс-спектрометрии и рентгеноструктурного анализа. Влияние тетратитаната калия $K_2O \cdot 4TiO_2$ на химический состав синтезируемого полимера изучалось методом ИКС (рис. 1).

Из приведенных данных следует, что спектры ПА-6 (кривая 1) и ПА-6, модифицированного тетратитанатом калия (кривая 2), полностью идентичны и содержат отчетливые характеристические полосы: чёткая полоса при 3300 см^{-1} (3303 и 3298 см^{-1}) соответствует валентным колебаниям амидной группы, связанной водородной связью с другими группами. Полоса при 3065 см^{-1} (3064 и 3060 см^{-1}) обусловлена резонансом Ферми валентных колебаний NH-групп, а также обертонами или комбинационными тонами колебаний Амид I и Амид II.

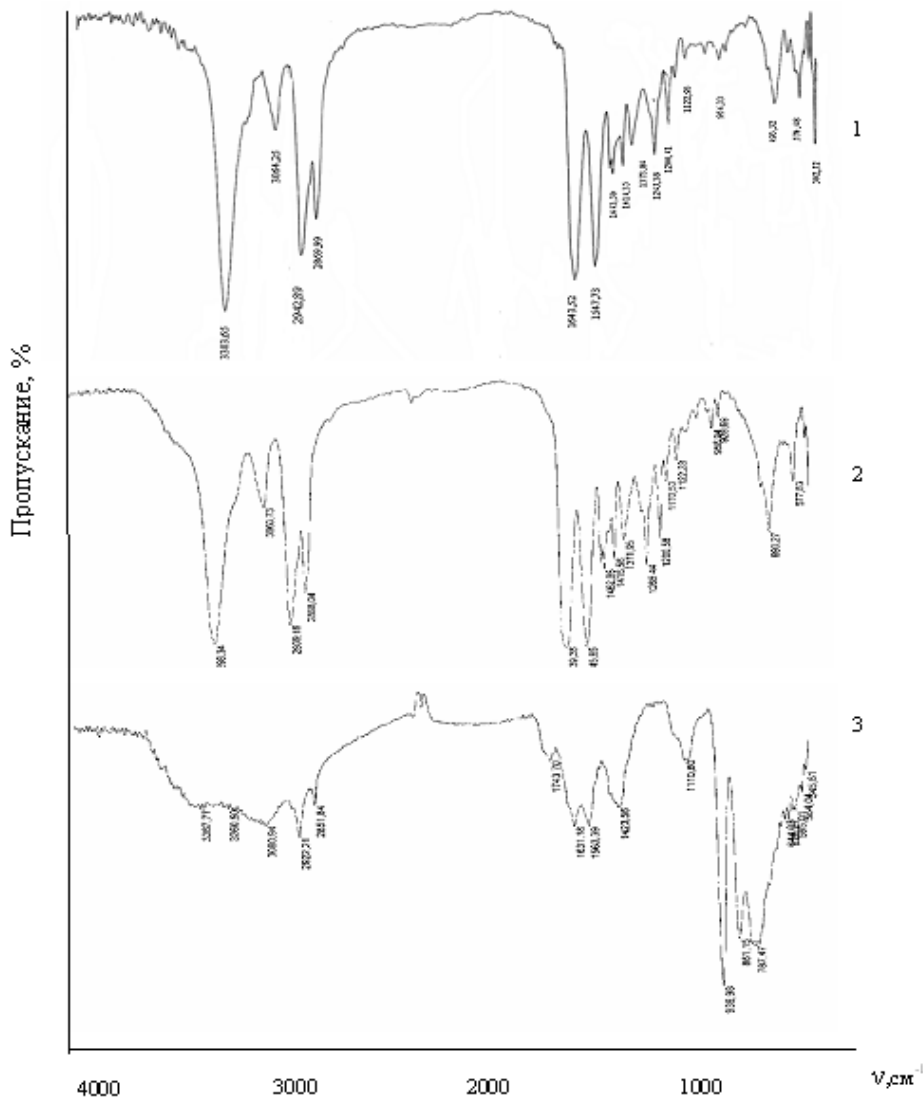


Рис. 1. ИК-спектры: 1-ПА-6; 2-ПА-6+1% тетратитаната калия; 3-тетратитанат калия

Полосы Амид I и Амид II являются характерными полосами трансамидных групп благодаря их устойчивому положению (1640 и 1545 см^{-1}) и большой интенсивности. Полосы, лежащие в интервале $900\text{-}1030 \text{ см}^{-1}$ соответствуют плоскостным скелетным колебаниям фрагмента CONH. Точное положение полос Амид I, Амид II и Амид VI различно для α - и β -модификаций полиамидов. Для исследуемых полиамидов характерно положение полосы Амид II при 1545 см^{-1} (1547 и 1545 см^{-1}), а также наличие конформационно чувствительных полос Амид V (при 690 см^{-1}) и Амид VI (при 580 см^{-1}), что позволяет идентифицировать ИК-спектры полученных полиамидов с их α -модификацией.

Идентичность модифицированного ПА-6 с исходным полиамидом подтверждается и данными хроматомасс-спектрометрии (рис. 2, табл. 1).

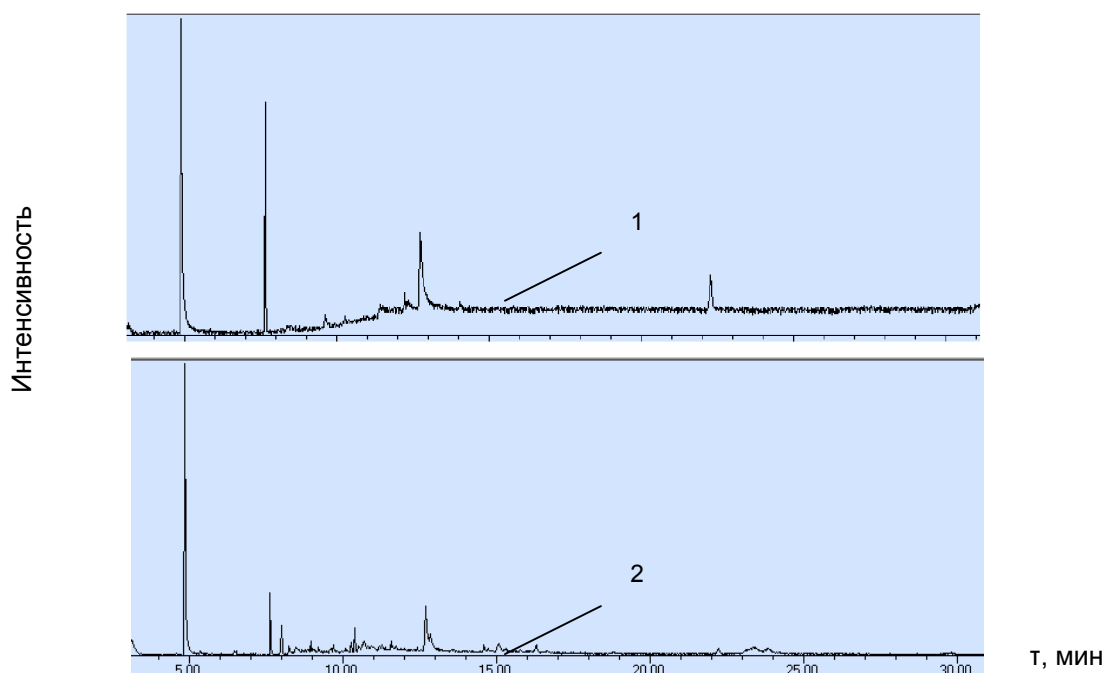


Рис. 2. Масс-хроматограммы: 1 – ПА 6; 2 – ПА 6+1% тетратитаната калия

Таблица 1

Данные хроматомасс-спектрометрии

Время удерживания, мин	Низкомолекулярные компоненты	
	ПА-6	ПА-6 + 1% ТТК
4,901	ε-капролактam	ε-капролактam
8,013	-	C ₁₂ H ₁₄ N ₂ O
8,254	C ₁₀ H ₁₀ N ₂ O	C ₁₀ H ₁₀ N ₂ O
12,706	C ₁₂ H ₂₂ N ₂ O ₂	C ₁₂ H ₂₂ N ₂ O ₂
14,599	C ₁₆ H ₁₅ N ₃ O ₄	C ₁₆ H ₁₅ N ₃ O ₄
15,069	-	C ₂₅ H ₄₀ O ₂
16,310	-	C ₃₂ H ₅₂ O ₂
22,238	C ₃₀ H ₅₀	C ₃₀ H ₅₀
23,406	-	C ₂₉ H ₄₈ O ₂
23,835	-	C ₂₉ H ₄₈ O ₂

Сравнительный анализ химического состава исследуемых полимеров свидетельствует о том, что основным компонентом их молекулярных цепей является капролактam (при времени удержания 4,901 мин интенсивность пиков максимальная). Кроме того, установлено, что в модифицированном ПА 6 иные соединения присутствуют в незначительных количествах, однако их компонентный состав расширяется по сравнению с исходным полимером (см. табл. 1).

Как и следовало ожидать, основное влияние субмикроразмерной добавки проявляется в изменении параметров надмолекулярной структуры синтезируемого полиамида 6 (рис. 3, табл. 2).

Из приведенных данных видно, что в присутствии 1% K₂O·4TiO₂ степень кристалличности полимера увеличивается более чем в 2 раза (с 17,4 до 40,5 %) с одновременным уменьшением размеров кристаллитов (с 42 до 28 Å). Полученные данные по оценке степени кристалличности позволяют сделать предположение о структурирующем влиянии вводимой в полиамид добавки. Очевидно, введение частиц K₂O·4TiO₂ приводит к образованию дополнительных центров кристаллизации полимера и повышает в нем долю упорядоченных областей. Следовательно, синтезированный в присутствии тетратитаната калия ПА-6 должен характеризоваться повышенными физико-механическими показателями, что подтверждается экспериментальными данными (табл. 3).

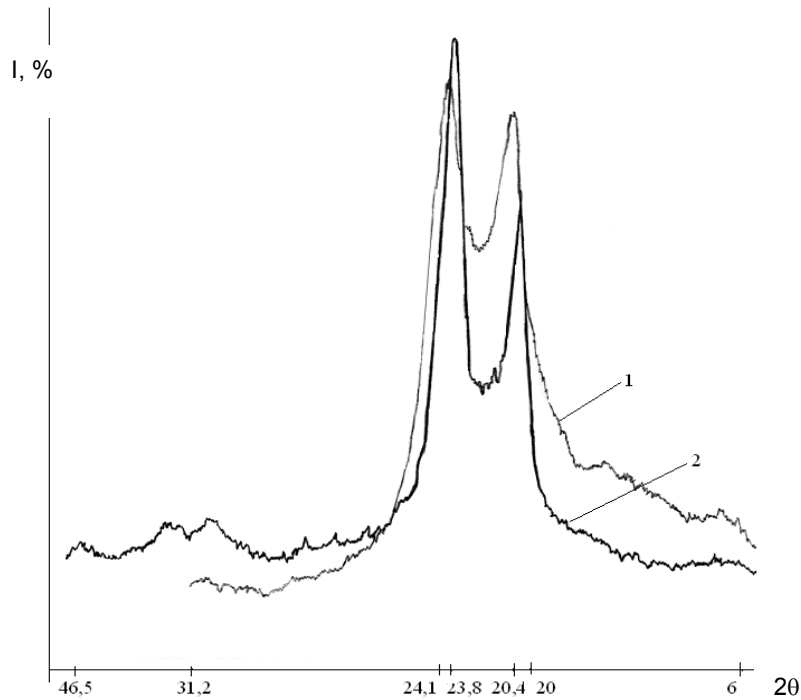


Рис. 3. Рентгенограммы образцов: 1 – ПА 6; 2 – ПА 6, содержащий 1 % тетратитаната калия

Таблица 2

Параметры надмолекулярной структуры модифицированного ПА 6

Полимер	Степень кристалличности, %		Размер кристаллитов, Å
	по ИКС	по РСА	по РСА
ПА-6	17,7	17,4	42
ПА-6+1% тетратитаната калия	21,4	40,5	28

Таблица 3

Зависимость физико-механических свойств ПА-6 от содержания тетратитаната калия

Материал	Свойства			
	Твердость по Бринеллю, МПа	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	Плотность, кг/м ³	Водопоглощение за 24 ч, %
ПА*	150	85-100	1130	3,5
ПА-6 лб.	146,0	67,3	1128	1,8
ПА+1%ТТК	197,0	70,0	1130	2,3

*- справочные данные [7].

Таким образом, показана возможность направленного регулирования структуры и свойств ПА 6 введением субмикроразмерной модифицирующей добавки – тетратитаната калия $K_2O \cdot 4TiO_2$. Методами ИКС, хроматомасс-спектрометрии и РСА проведена идентификация состава и доказано изменение надмолекулярной структуры модифицированного ПА 6. Установлено, что при введении 1% $K_2O \cdot 4TiO_2$ доля упорядоченных областей у исследуемого полимера возрастает в 2,5 раза при уменьшении размеров кристаллитов на 30%, что обеспечивает повышение его физико-механических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ №236609. Способы получения кристаллических титанатов калия / А.В. Гороховский, В.Н. Олифиренко, А.И. Палагин, Л.Г. Панова, И.Н. Бурмистров. 10.09.2009.
2. Гороховский А.В. Наноразмерные материалы – прекурсоры в синтезе керамических композитов / А.В. Гороховский, А. Фернандес-Фуэнтес, Л.Г. Панова // Сборник тезисов докладов. Т.1. М.: Роснано, 2008. С.717-718.

3. Ениколопян Н.С. Комплексные металлоорганические катализаторы полимеризации олефинов / Н.С. Ениколопян, Ф.С. Дьячковский, Л.А. Новокшонова // Полимеризационное выполнение термопластов. М., 1982. Т. 9. С. 110-112.

4. Фридман М.Л. Свойства и переработка полимеризационно-наполненных материалов / М.Л. Фридман // Пластические массы. 1982. № 2. С. 17-20.

5. Устинова Т.П. Структура и свойства полимеризационно-наполненного поликапроамида / Т.П. Устинова, С.Е. Артеменко, М.Ю. Морозова // Химические волокна. 1998. № 4. С. 17-19.

6. Сущенко Н.В. Влияние дисперсных и волокнистых наполнителей на свойства полимеризационно-наполненного ПА-6 / Н.В. Сущенко, Е.В. Лисина, Н.Л. Левкина, Т.П. Устинова // Пластические массы. 2008. № 1. С. 16-18.

7. Макаров В.Г. Промышленные термопласты: справочник / В.Г. Макаров. М.: КолосС, 2003. 208 с.

Левкина Наталья Леонидовна –
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Химическая технология» Энгельсского
технологического института (филиала)
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Natalia L. Levkina –
Ph. D., Associate Professor
Department of Chemical Technology
Engels Institute of Technology
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Трофимов Михаил Юрьевич –
аспирант кафедры «Химическая технология»
Энгельсского технологического института
(филиала) Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Mikhail Yu. Trofimiov –
Postgraduate
Department of Chemical Technology
Engels Institute of Technology
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Устинова Татьяна Петровна –
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Химическая технология»
Энгельсского технологического института
(филиала) Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Tatiana P. Ustinova –
Dr. Sc., Professor
Head: Department of Chemical Technology
Engels Institute of Technology
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 24.08.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 621.373.826

А.П. Назаров, А.А. Окунькова

ТИПОВЫЕ ОБРАЗЦЫ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ*

Освещаются вопросы применения метода селективного лазерного спекания для получения типовых образцов изделий. Рассматриваются варианты применения метода селективного лазерного спекания для создания прототипов, моделей и готовых функциональных изделий.

Селективное лазерное спекание, быстрое прототипирование, порошковый материал

* Настоящая работа выполнялась в рамках Постановления Правительства РФ №220 по государственной поддержке научных исследований, проводимых под руководством ведущих учёных в российских вузах.

A.P. Nazarov, A.A. Okunkova

STANDARD SAMPLES OF THE PRODUCTS RECEIVED BY SELECTIVE LASER SINTERING

The article presents the issues referring the application of selective laser sintering for receiving standard samples of products. Options for the application of selective laser sintering to create the prototypes, models and finished functional products are considered.

Selective laser sintering, rapid prototyping, powders

1. Введение. Последние два десятилетия активно развивается альтернативный способ создания трехмерных объектов, получивший название «быстрое прототипирование». В отличие от классического формообразования, где от заготовки отсекается все лишнее и за счет этого получается деталь, при быстром прототипировании деталь «выращивается» послойным добавлением материала. Такой подход позволяет создавать уникальные изделия, которые практически невозможно получить традиционными методами, например, теплообменники со сложной структурой каналов охлаждения, литейная оснастка для создания корпусов новых двигателей и насосов, фильтрующие элементы, индивидуальные медицинские протезы и др. Наиболее ярким представителем технологий быстрого прототипирования является метод селективного лазерного спекания. Данный метод имеет огромный потенциал для развития возможностей отечественного проектирования и производства.

В статье рассмотрены варианты применения метода селективного лазерного спекания. Приведены образцы готовых функциональных изделий, полученных методом селективного лазерного спекания. Рассмотрены возможности использования данного метода в следующих производственных процессах: литье в песчаные формы, литье по выплавляемым моделям, литье в кокиль, литье под давлением, горячая объемная штамповка, листовая штамповка.

2. Метод селективного лазерного спекания. В методе селективного лазерного спекания порошковый материал послойно спекается лазерным излучением [1]. Для этого нужны мелкодисперсные термопластичные порошки с хорошей вязкостью и быстро затвердевающие, например, полимеры, воск, нейлон, а также возможно использование керамики или металлических порошков с добавкой легкоплавкого связующего. На сегодняшний день также освоено прямое спекание металлических порошков (без добавления легкоплавкого связующего). В герметичной камере (рис. 1), внутри которой происходит весь процесс, порошок предварительно подогревается до температуры, несколько меньшей, чем температура плавления легкоплавкой фазы.

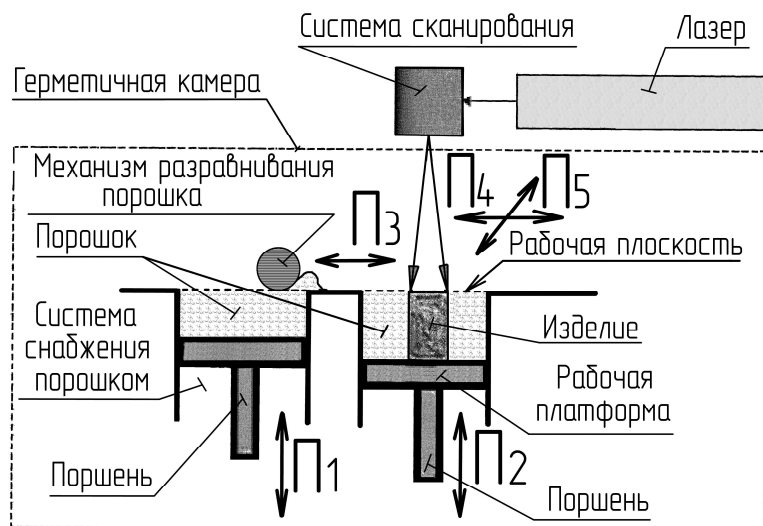


Рис. 1. Схема метода селективного лазерного спекания

Синтезируемая модель расщепляется в компьютере на сечения по информации из файла, который имеет расширение *.STL. После первого сечения разравнивается механизм разравнивания порошка по поверхности зоны обработки. Лазерное излучение спекает требуемый контур, затем новый слой порошка насыпается поверх первого слоя, разравнивается (рис. 1) и процесс повторяется.

Слой за слоем формируется изделие. Когда изделие готово, оно извлекается из камеры, а излишки порошка удаляются встряхиванием или зачисткой специальным шпателем. Формирование изделия может происходить в среде газа или вакуума (в зависимости от материала порошка). Удаляемый порошок можно использовать повторно.

Таким образом можно сказать, что сущность метода селективного лазерного спекания заключается в объединении систем автоматического проектирования (САПР) с лазерной технологией послойного синтеза объемных функциональных изделий.

Процесс селективного лазерного спекания происходит в машине для селективного лазерного спекания или СЛС-машине.

3. Область применения. Первоначальным назначением систем быстрого прототипирования была визуализация трехмерных данных. Однако высокая стоимость оборудования, расширение номенклатуры применяемых материалов, увеличение производительности постоянно стимулировали ученых и инженеров к поиску новых областей применения.

Сегодня варианты применения технологии быстрого прототипирования можно разбить на три группы [1]:

- прототипы для оценки проекта и работоспособности изделия;
- модели для дальнейшего производственного процесса;
- готовые функциональные изделия.

Рассмотрим каждую группу более подробно, оценивая потенциал применения в ней селективного лазерного спекания (СЛС).

4. Прототипы для оценки проекта и работоспособности изделия [5]. По функциональному признаку выделить можно три вида прототипов: эскизные, косметические, инженерные.

К эскизным относятся модели, используемые конструкторами на первых этапах разработки. Назначение – визуализация различных идей для более эффективной их оценки с целью выбора из всего множества решений наиболее перспективных вариантов.

Косметические прототипы предназначены для оценки внешнего вида и формы (эргономики) новой детали. Они используются для получения первых комментариев от заказчиков и оперативной коррекции дизайна изделия.

Наконец, инженерные прототипы используются для оценки функциональной пригодности новой разработки. Такие прототипы применяются для оценки сопрягаемости новой детали с существующим окружением (проверка собираемости изделия), а также для выполнения функциональных тестов. Впрочем, последнее возможно только лишь в тех случаях, когда разница между свойствами материалов прототипа и будущего изделия не критична, или можно адекватно отмасштабировать испытательные нагрузки с учетом этой разницы [5].

Создание эскизных и косметических прототипов методом селективного лазерного спекания экономически нецелесообразно (дорогие порошки, мощные лазеры и др.) в сравнении с таким методами, как послойное формирование объемных моделей из листового материала, трехмерная печать, послойная заливка экструдированным расплавом. Однако для создания инженерных прототипов прямое селективное лазерное спекание является очень актуальным методом, поскольку при использовании металлических порошков свойства моделей достаточно близки к свойствам такого же изделия, полученного классическими методами. Пример функционального прототипа (корпуса насоса), полученного на установке *Eosint M* (Германия), приведен на рис. 2 а.

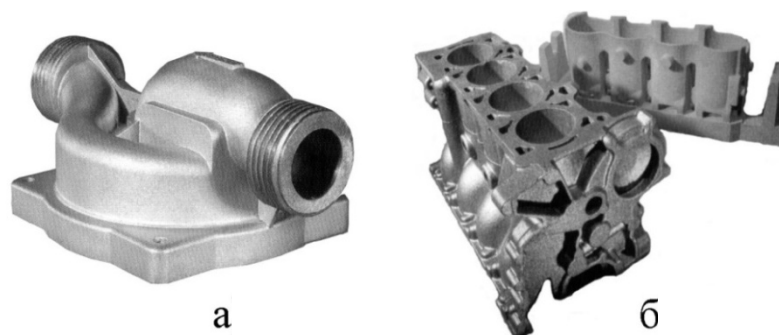


Рис. 2. Функциональный прототип, полученный прямым лазерным спеканием металлического порошка (а), отливка, полученная при помощи модели, созданной СЛС-машинной (б)

5. Модели для дальнейшего производственного процесса. Под моделями в данном случае понимаются в основном технологическая оснастка и инструмент. Для многих производственных процессов (все виды литья, объемная и листовая штамповка и т.п.) характерно применение универсального оборудования и специализированного (уникального для каждого типа детали) инструмента [5]. Изготовление каждого комплекта инструмента требует существенных материальных и временных затрат. Кроме того, зачастую необходим квалифицированный ручной труд.

Естественное стремление ускорить и, по возможности, автоматизировать процесс подготовки комплекта техоснастки в единичном и мелкосерийном производстве зачастую можно удовлетворить применением селективного лазерного спекания. В единичном производстве вышесказанное отражается в создании непосредственно инструмента, в мелкосерийном производстве – технологической оснастки.

Для создания инструмента можно выделить три принципиально отличных подхода применения селективного лазерного спекания: прямое использование (комплект инструмента создается СЛС-машиной), не прямое использование (СЛС-машина выдает промежуточный инструмент, с помощью которого изготавливается комплект основного технологического инструмента), производство без инструмента (благодаря использованию селективного лазерного спекания отпадает потребность в традиционном инструменте).

Рассмотрим наиболее интересные примеры использования селективного лазерного спекания для распространенных процессов производства металлических изделий.

Изготовление моделей и литейных форм для различных видов литья. Стоит отметить, что изготовление моделей и литейных форм является (на данный момент времени) основным направлением использования технологии селективного лазерного спекания.

Например, в процессе *Rapid Tool* фирмы *DTM* используется *Fe*-сплав с малым содержанием углерода, имеющий форму частиц 50 мкм, покрытых полимером [1]. Полимерный слой этого порошка расплавляется машиной для лазерного спекания. Полуфабрикат (*green part*), созданный таким способом, пропитывается растворимым в воде полимерным связующим веществом.

Пропитка осуществляется благодаря капиллярному эффекту в специальной ванне с полимером. Пропитанный полуфабрикат высушивается в вакууме при 50°C в атмосфере азота, таким образом, получается усиленный полуфабрикат.

Усиленный полуфабрикат взвешивается, и по результату взвешивания определяется количество медного сплава, необходимого для пропитки детали. Усиленный полуфабрикат и медный сплав помещают в графитовый тигель. Процесс начинается с того, что в два этапа выдавливаются полимерный связывающий агент. Затем деталь нагревают до температуры, при которой железный порошок начинает плавиться и между соседними частицами металла начинают образовываться перемычки. Пока железный порошок не расплавился до конца, пористость остается высокой [3].

Температура печи увеличивается далее, после чего медный сплав, который был добавлен в графитовый тигель, начинает таять и проникать внутрь компонента за счет капиллярного эффекта. После охлаждения до комнатной температуры готовый компонент можно вынимать из печи. Полностью затвердевший компонент имеет в своем составе 60% стали и 40% меди.

Время, требуемое на то, чтобы изготовить полуфабрикат (*green part*), зависит в основном от ее размера, а не от сложности. При горизонтальных размерах базовой области 180...150 мм и высоте 50 мм процедура лазерного спекания полуфабриката длится примерно 2...4 ч. Пропитка полимером и последующая сушка занимают примерно 48 ч. Для завершающей обработки в печи требуется примерно 48 ч.

Таким образом, весь процесс изготовления занимает 5 дней, и это время не зависит от сложности детали. Все процессы выполняются без вмешательства человека; в частности, для завершающего процесса обработки в печи предусмотрено множество функций и соответствующие программы безопасности. По этой причине в расписание работ можно включать и выходные дни. Совокупное время подготовки примерно 4 ч [2]. Данный процесс может применяться в литье в песчаные формы, в литье по выплавляемым моделям, литье в кокиль и литье под давлением.

Литье в песчаные формы и литье по выплавляемым моделям. В данном процессе специализированным инструментом является модель, используемая как шаблон для изготовления литейной формы (песчаной для литья в песчаные формы или керамической для литья по выплавляемым моделям), повторяющей очертания будущей отливки (рис. 3) [5]. Отливка (корпус двигателя), полученная при помощи модели, созданной СЛС-машиной, изображена на рис. 2 б.

Также селективное лазерное спекание может позволить отказаться от использования традиционного инструмента путем прямого создания формы для литья (рис. 4) [5]. При литье в песчаные формы используют порошки, состоящие из песка, зерна которого покрыты фотополимеризующейся смолой. При литье по выплавляемым моделям для «выращивания» модели (рис. 3) подходят только легкоплавкие и сгорающие без расширения порошки, а для создания керамической оболочки (рис. 4) применяют керамические порошки.



Рис. 3. Создание шаблонной модели методом СЛС и использование ее в литье в песчаные формы и в литье по выплавляемым моделям [5]

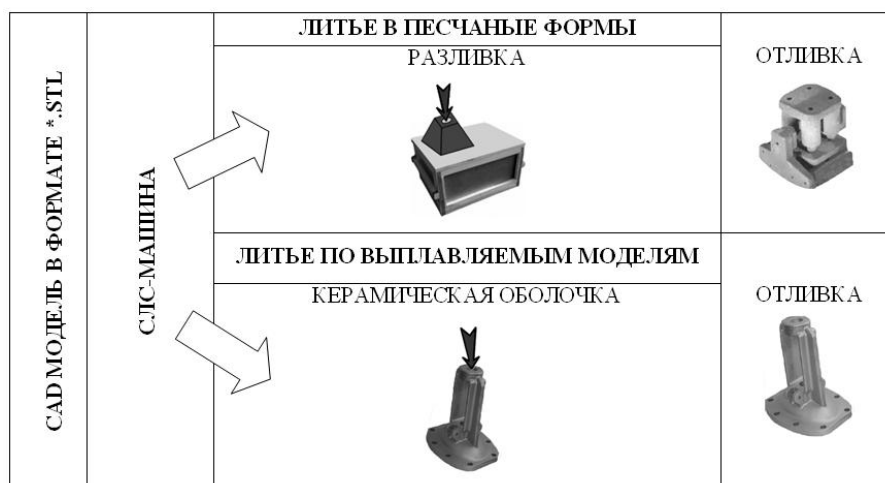


Рис. 4. Создание форм для литья методом СЛС и использование их в литье в песчаные формы и в литье по выплавляемым моделям [5]

Литье в кокиль и литье под давлением [5]. И при литье в кокиль, и при литье под давлением используются многоразовые металлические формы, которые и являются основным технологическим инструментом.

Возможно непосредственное изготовление прочных металлических форм селективным лазерным спеканием (рис. 5) [5]. Материалы порошков – различные металлы и металлические композиции.



Рис. 5. Условная схема применения СЛС в процессе литья в кокиль и литья под давлением (прямое изготовление металлической формы) [5]

Следует отметить, что любое изготовление литейной формы напрямую методом селективного лазерного спекания является относительно дорогим приемом. Поэтому такой прием целесообразен для изготовления только сложных и дорогостоящих деталей. Также надо иметь в виду, что всегда

существуют альтернативные методы быстрого прототипирования (послойное формирование объемных моделей из листового материала, трехмерная печать, послойная заливка экструдированным расплавом), которые могут снизить экономические затраты, но часто приводят к удлинению технологического цикла изготовления детали.

Горячая объемная штамповка [5]. В процессах горячей объемной штамповки разогретая металлическая заготовка деформируется между сдвигаемыми половинками штампа, принимая форму, соответствующую вырезанной в штампе фигуре (рис. 6) [5]. Условия эксплуатации штампов – тяжелейшие: высокие температуры, высокие давления, абразивное трение [8-10, 12]. Из-за этого требования к материалу штампов таковы, что селективное лазерное спекание не в состоянии их выполнить. Поэтому селективное лазерное спекание находит здесь только не прямое применение, например, изготовление сложнопрофильных электродов, которые путем прожига на электроэрозионных станках создают формообразующую поверхность штампов (рис. 6) [5, 13].



Рис. 6. Условная схема применения СЛС в процессе горячей объемной штамповки (изготовление сложнопрофильных электродов) [5]

Листовая штамповка [5]. В данном процессе требования к материалу штампов не столь высоки, как при горячей объемной штамповке (деформация ведется без предварительного нагрева металла, значительно меньше деформационные усилия и, соответственно, давление на инструмент). Поэтому возможно прямое изготовление комплекта штампов, например для рельефной формовки или вытяжки.

6. Готовые функциональные изделия

По своей сути создание готовых функциональных изделий методом селективного лазерного спекания является совершенно новым и независимым производственным процессом. Механические свойства объектов, генерируемых селективным лазерным спеканием, часто позволяют их непосредственное применение в качестве функциональных деталей [5, 14, 15]. Процесс изготовления одной детали с помощью СЛС-машины занимает обычно несколько часов, что порой на несколько порядков медленнее традиционных способов. Однако производство деталей селективным лазерным спеканием не требует разработки и отладки техпроцесса и изготовления специального инструмента – в этом и заключаются основные преимущества данного метода. Очевидно, что такого рода безинструментальное производство становится экономически оправданным в том случае, когда в силу тех или иных причин существует потребность в одной-единственной или нескольких уникальных деталях. Это могут быть экспериментальные образцы для испытаний, функционально-градиентные изделия [4, 11], имплантаты [2, 7] и др. (рис. 7).

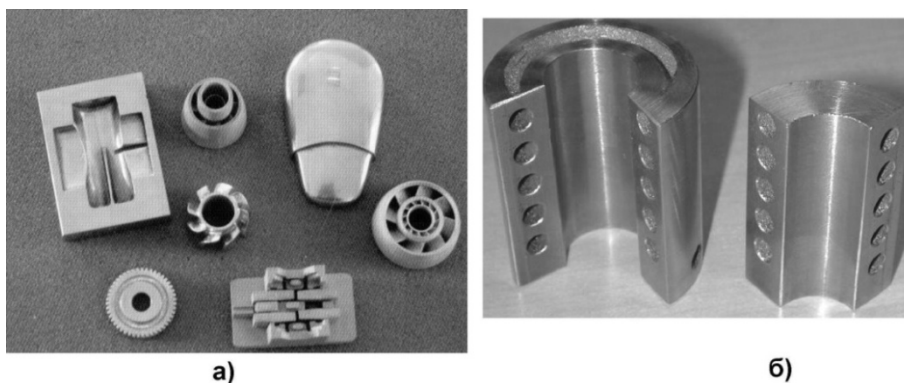


Рис. 7. Детали, изготовленные из металлических порошков, с рекламного проспекта установки Phenix PM 250 (Франция) (а), деталь, изготовленная из металлического порошка со сложной структурой каналов охлаждения (б) [11]

Заключение. Варианты применения технологии быстрого прототипирования можно разбить на три группы: прототипы для оценки проекта и работоспособности изделия, модели для дальнейшего производственного процесса, готовые функциональные изделия. В каждой из этих трех групп находит широкое применение метод селективного лазерного спекания, который является ярким представителем быстрого прототипирования.

Метод селективного лазерного спекания имеет огромный потенциал для создания совершенно нового и независимого производственного процесса, а также уже находит применение в классических производственных процессах таких как: литье в песчаные формы, литье по выплавляемым моделям, литье в кокиль, литье под давлением, горячая объемная штамповка, листовая штамповка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишковский И.В. Перспективы быстрого прототипирования для изготовления моделей и литейных форм / И.В. Шишковский // Литейное производство. 2010. № 6. С. 23-29.
2. Шишковский И.В. Лазерный синтез функционально – градиентных мезоструктур и объемных изделий / И.В. Шишковский. М.:Физматлит, 2009. 424 с.
3. Шишковский И.В. Использование селективного лазерного спекания в литье по выплавляемым моделям / И.В. Шишковский // Литейное производство. 1999. № 7. С. 19-22.
4. Шишковский И.В. Лазерный синтез объемных изделий / И.В. Шишковский // Обзорный доклад на семинаре Отделения квантовой радиофизики ФИАН им. П.Н. Лебедева, декабрь 2009, Москва.
5. Кузнецов В. Системы быстрого изготовления прототипов и их расширения / В. Кузнецов // CAD/CAM/CAE Observer №4 (13) 2003.
6. Functional graded material synthesis via Direct Metal Deposition / I. Yadroitsev, I.V. Shishkovsky, P. Bertrand, I. Smurov // Proceedings of the Fourth International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing 2007, Munich, 18-22 June 2007. P. 16.
7. Назаров А.П. Перспективы быстрого прототипирования методом селективного лазерного спекания/плавления / А.П. Назаров // Вестник МГТУ «Станкин». 2011. № 4. Т. 1 (16). С. 46-51.
8. Окунькова А.А. Комплекс контроля геометрических параметров продукции термопластавтомата: разработка структурной схемы / А.А. Окунькова // Вестник МГТУ «Станкин». 2011. № 2. С. 75-79.
9. Рыбаков А.В. Решение задач технологической подготовки производства деталей, получаемых методом электроэрозионной проволочной обработки (на примере деталей пресс-форм в Pro/Engineer) / А.В. Рыбаков, А.А. Окунькова // Вестник Брянского государственного технического университета. 2009. №1 (21). С. 20-28.
10. Cutting tools nitriding in plasma produced by a fast neutral molecule beam / A. Metel, S. Grigoriev, Y. Melnik, V. Panin, V. Prudnikov // Japanese Journal of Applied Physics. 2011. Vol. 50 (8 part 2). P. 08JG04-1-08JG04-4.
11. Аддитивное производство с помощью лазера / И.Ю. Смуров, И.А. Мовчан, И.А. Ядроцев, А.А. Окунькова, Е.В. Цветков, Н.Ю. Черкасова // Вестник МГТУ «Станкин». 2011. Т. 2. № 4. С. 144-146.
12. Григорьев С.Н. Перспективы развития кроссплатформенных компьютерных систем числового программного управления высокотехнологичного оборудования / С.Н. Григорьев, А.Г. Андреев, Г.М. Мартынов // Автоматизация в промышленности. 2011. № 201105. С. 03-08.
13. Григорьев С.Н. Модификация поверхности режущего инструмента из быстрорежущей стали путем вакуумно-плазменной обработки / С.Н. Григорьев, М.А. Волосова, В.Н. Климов // Физика и химия обработки материалов. 2005. № 5. С. 11-18.
14. Григорьев С.Н. Технология комбинированного поверхностного упрочнения режущего инструмента из оксидно-карбидной керамики / С.Н. Григорьев, М.А. Волосова // Вестник машиностроения. 2005. № 9. С. 32-36.
15. Григорьев С.Н. Разработка теории непрерывного формообразования изделий из ультрадисперсных композиционных порошковых материалов / С.Н. Григорьев, А.Н. Красновский // Вестник МГТУ «Станкин». 2011. № 1. С. 12-16.

Назаров Алексей Петрович – аспирант кафедры «Станки» Московского государственного технологического университета «Станкин»

Alexey P. Nazarov – Postgraduate Machines Department Moscow State Technological University «Stankin»

Окунькова Анна Андреевна –
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Московского государственного технологического
университета «Станкин»

Anna A. Okunkova –
Ph. D., Senior Researcher
Moscow State Technological University «Stankin»

Статья поступила в редакцию 12.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 678.01

В.В. Панкеев, А.В. Никифоров, Е.С. Свешникова, Л.Г. Панова

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Разработаны методы и параметры физико-химической модификации материалов на основе оболочки обмолота проса. Показана возможность получения на их основе термостойких, наполнителей для эпоксидной смолы, которые относят композиционный материал к классу трудносгораемых.

Оболочка обмолота проса, физическая и химическая модификация, параметры термообработки, свойства

V.V. Pankeev, A.V. Nikiforov, E.S. Sveshnikova, L.G. Panova

PHYSICAL AND CHEMICAL MODIFICATION OF CELLULOSE WASTE

Methods and parameters of physical and chemical modification of materials on the basis of the cover thrashing millet have been developed. These methods ensure the possibility of developing heat-resistant fillers for the epoxy pitches which help refer the given composite material to the class of nonflammable materials.

Cover thrashing millet, physical and chemical modification, parameters of heat treatment, behaviour

Сбор зерновых культур в период с 2004-2010 гг. составил 7557 тыс.т., при обмолоте которых выход отходов составляет 15,5%. Частицы ООП имеют небольшую толщину при достаточно больших размерах, обладают высокой удельной поверхностью, но малой насыпной плотностью.

По химическому составу они представляют собой полисахариды, включают 14-25% воды и незначительное количество минеральных веществ [1].

Измельчению такие материалы поддаются сложно и измельченная композиция полидисперсна, поэтому проводили их термообработку в муфельной печи со ступенчатым повышением температуры от 20 до 250, 300, 350, 400, 450, 500°C, со скоростью нагрева 10-12 °C/мин. При термообработке образцы усаживаются, уменьшаются в размерах и приобретают черный цвет (рис. 1).



Рис. 1. ООП, термообработанные при $T = 400^\circ\text{C}$ в течение 5 мин

Анализ спектров термообработанных ООП показал, что при воздействии температур 200 и 250°C не происходит существенных изменений в структуре и составе образцов (рис. 2, кр. 2, 3). Только у термообработанных при 400°C ООП (кр. 4) уменьшается интенсивность полосы поглощения ОН

групп, практически исчезают полосы, соответствующие поглощению ($-C-O-C-$) гликозидной связи (1060 см^{-1}), и увеличивается пик колебаний CH_2 группы (2853 см^{-1}), что свидетельствует о разрушении макромолекулы по гликозидной связи.

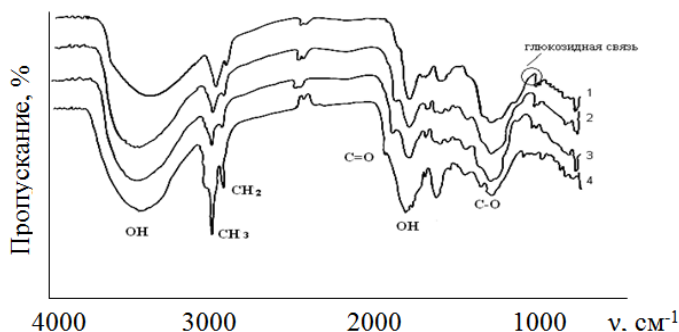


Рис. 2. Данные ИКС ООП: 1 – ООП исходные; 2, 3, 4 – ООП термообработанные при температурах: 2 – 190°C ; 90 мин; 3 – 250°C ; 90 мин; 4 – 400°C ; 5 мин

В условиях нагрева до 400°C выход углеродсодержащих структур не превышает 20-25%. Поэтому в дальнейших исследованиях осуществляли модификацию ООП соединениями, способными инициировать карбонизацию ООП, и использовали ступенчатый нагрев для окисления ООП в кислородсодержащей среде. Модификацию проводили из водных растворов соединений, содержащих различные по химической природе ингибиторы горения: фосфор, азот, хлор. В качестве таких соединений использовались фосфорная кислота (ФК), полифосфат аммония (АПП-3), трихлорэтилфосфат (ТХЭФ), тетрафторборат аммония (ТФБА), пентаэритрит (ПЭТ), трикрезилфосфат (ТКФ).

Анализ влияния содержания модификаторов в растворе на выход продукта проводили на примере ООП, модифицированных фосфорной кислотой, табл. 1.

Таблица 1

Зависимость выхода модифицированного продукта после термообработки и промывки от концентрации модификатора в пропиточной ванне

Содержание ФК в ванне, %	Выход продукта после термообработки, % масс	Выход продукта после промывки, % масс, от выхода продукта после термообработки
85	65	55
42,5	51	58,5
20,0	44	70,0
10,0	36	78,5
5,0	28	88,2
1,0	25	97,5
ООП исходные	20,5	-

Достаточно высокий выход готового продукта (44% масс.) достигается и сохраняется после промывки (70% масс.) из ООП, модифицированных из ванны, содержащей 20% ФК (табл. 1).

При этом образуются фосфаты в результате реакции этерификации в кислой среде. О наличии химического взаимодействия ФК с ООП свидетельствуют данные элементного анализа, полученного рентгенофлуоресцентным методом. Показано, что фосфор сохраняется даже в промытых до нейтральной среды образцах, но количество его уменьшается в 4 раза.

Анализ выхода карбонизованных структур показал (табл. 2), что более эффективным модификатором является ТФБА, кроме того, не требуется промывка образцов, так как рН водного раствора нейтрален.

Таблица 2

Выход углеродсодержащих структур из образцов, модифицированных замедлителями горения

Замедлитель горения	Выход продукта после термообработки, $T=400^\circ\text{C}$, 5 мин, % масс.
АПП-3	44
ТХЭФ	38
ТФБА	60
ПЭТ	32
ТКФ	37

Вместе с тем представлялось необходимым определить, участвует ли ТФБА только в процессах структурирования полимера, обеспечивая повышенный выход карбонизата, или еще и сохраняется в составе продукта. ТФБА в условиях термообработки теряет 100% массы, что подтверждается данными термогравиметрического анализа ТФБА, проведенного со скоростью нагрева 10 градусов в минуту, аналогичной скорости нагрева в печи при термообработке. ТФБА в интервале температур 198-204 °С плавится, а в интервале температур 220-365 °С разлагается со 100% потерей массы.

Вследствие, высокой термостойкости нами было предложено использование этих отходов в качестве наполнителей эпоксидной смолы марки ЭД 20. Их введение обеспечивает снижение горючести и перевод материала в класс трудногораемых табл.3, так как кислородный индекс (КИ), характеризующий воспламеняемость материала, возрастает с 25 до 29,5% объем. (при КИ > 27 относится к классу трудногораемых материалов) и обеспечивает повышение комплекса физико-механических свойств, табл.3.

Таблица 3

Свойства наполненных композитов, отверждённых полиэтиленполиамином

Состав композиции, масс.ч.	Свойства			
	КИ, % объем.	ударная вязкость, кДж/кг	разрушающее на- пряжение при из- гибе, МПа	твердость по Бринеллю, МПа
ЭД20+15ПЭПА+30ТХЭФ+20 ООП исходных	25	5	17	110
ЭД20+15ПЭПА+30ТХЭФ+20 ООП (400°С)	29,5	8	34	140

Разработанные материалы также можно использовать при создании мембран с высокой селективностью по белку, извлекаемому из вторичного сырья (сыворотки) [2], а также в качестве высокоэффективных нефтесорбентов [3]

Выводы

- установлено, что по химическому составу оболочка проса относится к полисахаридам;
- разработана технология модификации оболочки проса соединениями, обеспечивающими структурирование полимера при термообработке, и, соответственно, повышенный выход готового продукта;
- выбран оптимальный замедлитель горения;
- показана возможность создания трудногораемых композиционных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Создание углеродных наполнителей для полимерных материалов на основе отходов обмолота сельскохозяйственных культур / В.В. Панкеев, Е.С. Свешникова, О.А. Володченко, А.В. Никифоров, Л.Г. Панова // Системы автоматического проектирования и автоматизация производства: сб. науч. тр. по материалам I регион. науч.-техн. конф. Саратов: СГТУ, 2009. С. 133-137.
2. Потехина Л.Н. Исследование эксплуатационных характеристик композиционных ацетатцеллюлозных наномембран / Л.Н. Потехина, В.М. Седелкин, А.Н. Суркова. // Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология: доклады Междунар. конф. «Композит-2010». Саратов: СГТУ, 2010. С. 317-319.
3. Технологические принципы создания наполнителей на основе отходов сельскохозяйственного производства / В.В. Панкеев, Е.С. Свешникова, А.В. Никифоров, Л.Г. Панова // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент: материалы 3 Междунар. науч.-иннов. молодежной конф.; под общ. ред. Д.О. Завражина. Тамбов, 2011. 426 с.

Панкеев Виталий Васильевич – аспирант кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vitaly V. Pankeev – Postgraduate
Department of Chemical Technology
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Никифоров Антон Вадимович – аспирант кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Anton V. Nikiforov – Postgraduate
Department of Chemical Technology
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Свешникова Елена Станиславовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena S. Sveshnikov – Ph. D., Associate Professor
Department of Chemical Technology
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Панова Лидия Григорьевна – доктор химических наук, профессор кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Lydia G. Panova – Dr. Sc., Professor
Department of Chemical Technology
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 11.04.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 621.357.53,621.357.74,621.793.3

С.С. Попова, И.Ю. Гоц, С.М. Закирова, Л.А. Рахметулина

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА АКТИВИРУЮЩИХ РАСТВОРОВ НА КАЧЕСТВО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ АБС-ПЛАСТИКА

Рассмотрено влияние обработки поверхности АБС-пластика в спиртовом растворе коллоидного графита на процесс химического меднения. Использование данного раствора позволяет сократить количество технологических операций для подготовки поверхности АБС-пластика к химической металлизации. Установлено что, нанесение химическим способом медного подслоя позволяет получать качественные блестящие медные покрытия.

Пластмассы, подготовка поверхности, металлизация, гальванические покрытия, коллоидный графит

S.S. Popova, I.Yu. Gotz, S.M. Zakirova, L.A. Rahmetulina

IMPACT OF THE ACTIVATING SOLUTIONS ON THE QUALITY OF COPPER COATING ABS PLASTICS

The authors have investigated the influence of the surface treatment of ABS plastic on the alcohol solution of colloidal graphite. Using this solution helps reduce the number of the processing steps needed to prepare the surface of ABS plastic for chemical metallization. Application of the chemical process by means of the copper sublayer results in the toppest quality of the copper coating.

Plastics, surface preparation, plating, electroplating, colloidal solution of graphite

Металлизация пластмасс широко применяется для защитно-декоративной отделки разнообразных деталей машин и приборов в машиностроении, радиотехнике и электронном приборостроении. Она обеспечивает одновременно сочетание полезных физико-механических и химических свойств металла и непроводника: магнитные и смазывающие, высокую отражательную способность, паяемость и высокую твердость, электропроводность, износ-коррозионную стойкость. Изделия из металлизированных пластмасс в 4-9 раз легче изделий из металла. Кроме того, замена деталей из легких сплавов и цветных металлов на металлизированные пластмассовые детали позволяет получать последние более сложной конфигурации и экономить металл [1-5]. Известно [3], что поверхность пластмассовых изделий после их изготовления редко бывает пригодной для химической металлизации, и ее приходится модифицировать путем изменения морфологической структуры и химического состава.

При формировании электропроводных паяемых покрытий на поверхности диэлектриков широкое распространение получило модифицирование путем химического осаждения токопроводящего подслоя из металла с последующим гальваническим доращиванием [4].

Целью данной работы являлось изучение влияния предварительной обработки поверхности АБС-пластика в растворах различных составов на нанесение металлических покрытий путем химического и гальванического осаждения.

Методика эксперимента

Предварительная обработка образцов включала механическую шлифовку, обезжиривание в органическом электролите, травление проводили в растворе крепкой щелочи (концентрация 100г/л), активацию поверхности. Составы растворов для активации приведены в табл. 1. На каждом этапе обработки фиксировались изменения веса образцов и изменения морфологии поверхности (рис. 1). Активирование поверхности исследуемых образцов из пластика перед нанесением меди осуществляли по двум схемам:

- классической, состоящей из операций сенсбилизации растворами солей олова и последующей активации в растворах солей серебра.
- обработки коллоидным графитом с последующей активацией в комплексном электролите, содержащем ионы меди [6].

Процесс химического меднения вели в растворах №1-3 (табл. 2), последующее электрохимическое наращивание слоя меди – в электролите №4 в гальваностатическом режиме.

О кинетике наращивания слоя меди судили по характеру изменения $E-t$ кривых относительно хлорсеребряного электрода сравнения (рис. 2) и pH_s-t (рис. 3), а также по привесу образцов и толщине медного покрытия (табл. 4). В работе использован потенциостат ПИ-50-1. Изменение приэлектродного слоя pH_s в процессе химического меднения фиксировали с помощью микросурьмяного электрода и с цифрового вольтметра ЦЦ-300.

В качестве донора лигандов в электролит химического осаждения меди вводили двойную виннокислую соль Na-K, в качестве восстановителя – формальдегид, в раствор химического меднения вводили в количестве 35-40% CH_2O вместе с 10-15% метанола для предупреждения полимеризации формальдегида.

Таблица 1

Активирующие составы для предварительной подготовки поверхности АБС-пластика [6]

Составы растворов, г/л	Температура, °C	Время, мин
SnCl ₂ -17 HCl(d-1.19) -28	18-25	1
C ₂ H ₅ OH(мл)-500 AgNO ₃ -5	18-25	3
Графит C ₂ H ₅ OH	18-25	0,1
HCl-150 KCl-28 PbCl ₂ -10 CuCl ₂ *H ₂ O-50	18-25	20

Таблица 2

Составы растворов химического и электрохимического меднения

Компоненты растворов	Концентрация, г/л			
	№1	№2	№3	№4
виннокислый Na-K	80			
NaOH	40	30		
CuSO ₄ · 5H ₂ O	20	100	80	200
Na ₂ CO ₃			40	
трилон Б		200	75	
тиомочевина (мл)		0,2		
формалин (мл)		60		
H ₂ SO ₄	10			50
Время, мин	30	30	30	30
Температура, °C	18-25	18-25	18-25	18-25
pH	12,2-12,7	12,2 – 12,7.	11,8-12,5	3,5-4,2
i, A/дм ² .				0,5

Результаты эксперимента и их обсуждение

Как видно из табл. 3 и данных микроструктурного анализа (рис. 1), на поверхности АБС-пластика после обработки в спиртовом растворе коллоидного графита осаждаются частицы графита, которые становятся эффективными каталитическими центрами, на которых начинается восстановление ионов меди.

Как видно из микрофотографий, наибольшей сплошностью и равномерностью обладают образцы, полученные с помощью прямого активирования в спиртовом растворе коллоидного графита. Эти подложки имеют большее число центров кристаллизации, а технология формирования структуры намного проще и дешевле, чем в случае использования комплексных и кислотных электролитов: использование спиртового раствора коллоидного графита позволяет сократить количество технологических операций для подготовки поверхности АБС-полимеров как химической металлизации, так и электрохимических методов осаждения металлов.

Изменение потенциала процесса меднения во времени ($E-t$) на начальном участке во временном интервале от 0 до 25 с характеризуется появлением пика. Примерно к 150-300 с на электроде устанавливается стационарное значение E , что указывает на протекание реакции образования зародышей и рост слоя осадка в толщину, который обусловлен перенапряжением образования новой фазы. Более значительная поляризация в случае предобработки в спиртовом растворе коллоидного графита указывает на возрастание роли диффузии ионов меди через формирующийся слой вследствие увеличения электропроводности поверхности, уменьшения величины активной поверхности.

Однако на кривых зависимости pH_s-t (рис. 3) активное защелачивание приэлектродного слоя продолжается еще вплоть до 600-700 с, что указывает на продолжение активного осаждения металла на поверхности электрода.

Как следует из представленных данных (рис. 1-3), после обработки в спиртовом растворе коллоидного графита процесс химического меднения протекает в области $pH_s < 7$ и мало зависит от вида диэлектрика. При активации поверхности оловом и серебром (кривые 1 и 2 рис. 3) pH_s в процессе осаждения меди сильно зависит от вида диэлектрика и возрастает почти в 2 раза при замене диэлектрика (ГОСТ 16336-77) на диэлектрик (ГОСТ 10087-62).

Степень кристалличности осадка, количество пор, их глубина возрастают при замене стандартного электролита активации (хлористое олово, нитрат серебра) на спиртовой раствор коллоидного графита. Увеличение степени шероховатости привело к значительному ускорению процесса роста медного осадка. Толщина покрытия при этом меняется сравнительно мало (табл. 4), что согласуется с представлением о внедрении меди в глубь активированного слоя.

Полученные после дополнительного наращивания в гальваностатическом режиме медные покрытия равномерные, матовые, достаточно плотные и после полировки приобретают металлический блеск (рис. 5).

Таблица 3

Гравиметрические измерения изменения массы исследуемых образцов после различных видов обработки поверхности

Вид предварительной обработки поверхности и состав г/л	Вид диэлектрика	$\Delta m, \text{г/см}^2$
Механическая шлифовка	ГОСТ 16336-77	-0,00442
	ГОСТ 10087-62	-0,0029
Травление в растворе щелочи	ГОСТ 16336-77	-0,00242
	ГОСТ 10087-62	-0,0084
стандартные электролиты активации SnCl ₂ -17 HCl(d-1.19) -28 C ₂ H ₅ OH(мл)-500 AgNO ₃ -5	ГОСТ 16336-77	0,00028
	ГОСТ 10087-62	0,00026
Прямая активация в коллоидном графите Графит 40% C ₂ H ₅ OH	ГОСТ 16336-77	0,0021
	ГОСТ 10087-62	0,0012
Совмещенный электролит HCl-150 KCl-28 PbCl ₂ -10 CuCl ₂ *H ₂ O-50	ГОСТ 10087-62	0,0012

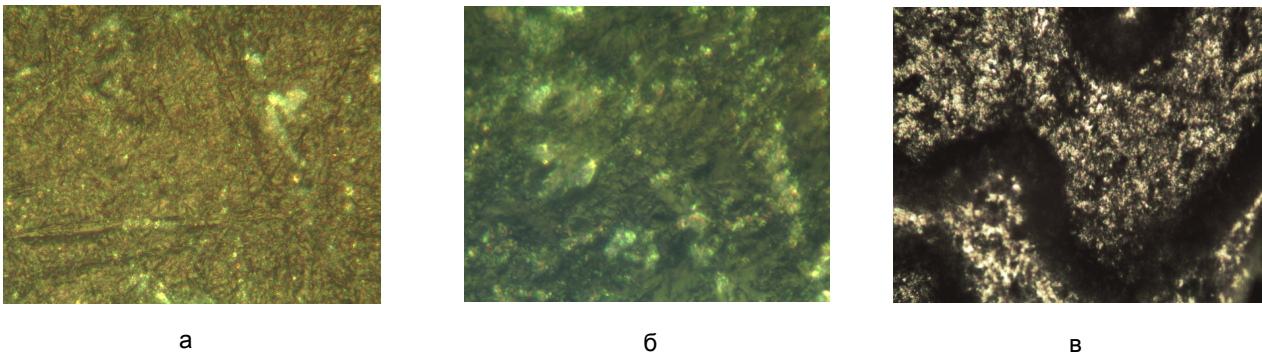


Рис. 1. Микроструктура поверхности АБС-диэлектрика ГОСТ 10087-62 после модифицирования поверхности: 1 – исходная поверхность; 2 – в спиртовом растворе коллоидного графита; 3 – в подкисленном растворе хлорида олова и спиртовом растворе нитрата серебра. Увеличение $\times 800$ [6]

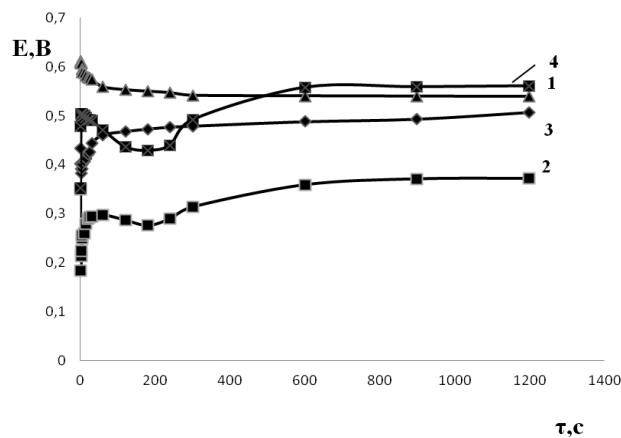


Рис. 2. Бестоковые $E - t$ кривые химического меднения диэлектрика: 1 – хлористое олово, нитрат серебра, диэлектрик ГОСТ 16336-77; 2 – коллоидный графит, диэлектрик ГОСТ 16336-77; 3 – хлористое олово, нитрат серебра, диэлектрик ГОСТ 10087-62; 4 – коллоидный графит, диэлектрик ГОСТ 10087-62

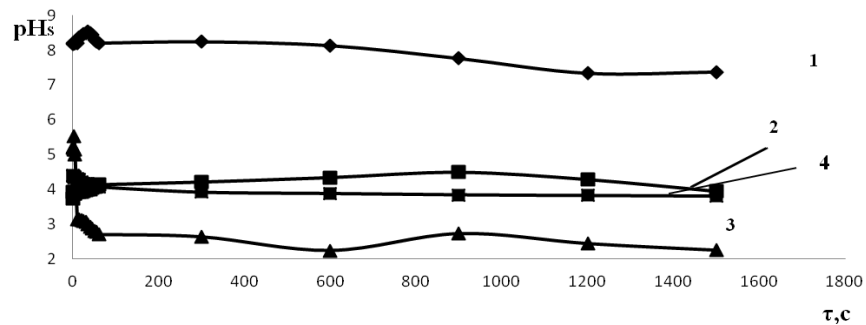


Рис. 3. Зависимость pH_s от времени при химическом меднении диэлектриков в кислой среде: 1 – хлористое олово, нитрат серебра (диэлектрик ГОСТ 10087-62); 2 – хлористое олово, нитрат серебра (диэлектрик ГОСТ 16336-77); 3 – коллоидный графит (диэлектрик ГОСТ 10087-62); 4 – коллоидный графит (диэлектрик ГОСТ 16336-77)

Таблица 4

Значения привеса массы и средней толщины медного покрытия

Активация	Вид диэлектрика	Привес массы $\Delta m, \text{г/см}^2$	Толщина покрытия $H_{\text{ср}}, \text{мкм}$
SnCl_2 AgNO_3	ГОСТ 16336-77	0,0186	20,9
	ГОСТ 10087-62	0,0145	22,6
Спиртовой раствор коллоидного графита	ГОСТ 16336-77	0,0411	24,1
	ГОСТ 10087-62	0,0368	23,5

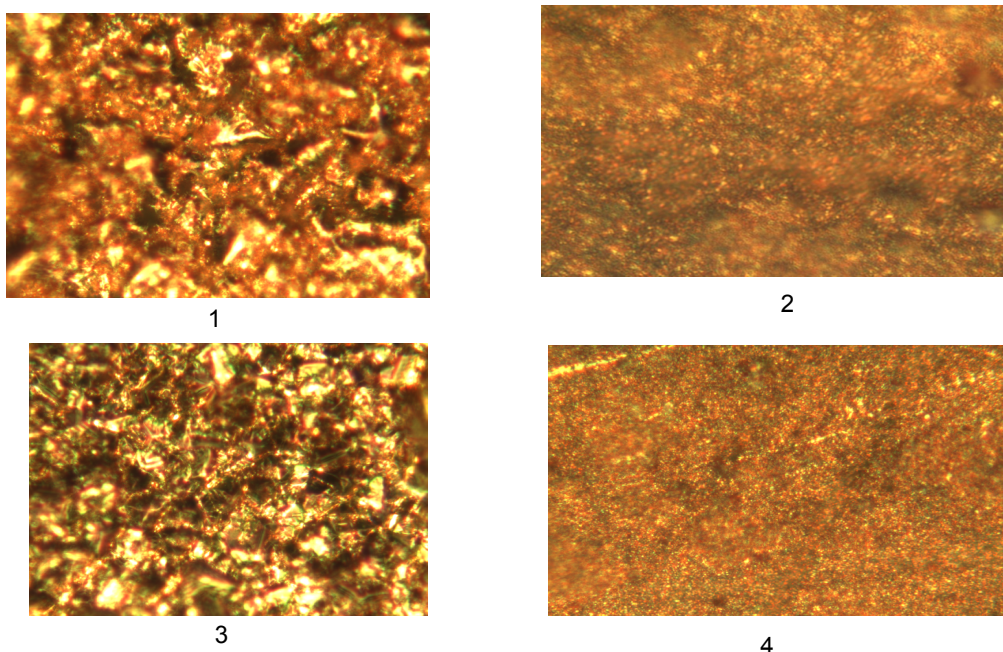


Рис. 4. Микроструктура поверхности АБС-диэлектрика после модифицирования поверхности: 1 – в спиртовом растворе коллоидного графита (диэлектрик ГОСТ 16336-77); 2 – в подкисленном растворе хлорида олова и спиртовом растворе нитрата серебра (диэлектрик ГОСТ 16336-77); 3 – в спиртовом растворе коллоидного графита (диэлектрик ГОСТ 10087-62); 4 – в подкисленном растворе хлорида олова и спиртовом растворе нитрата серебра (диэлектрик ГОСТ 10087-62). Увеличение $\times 800$

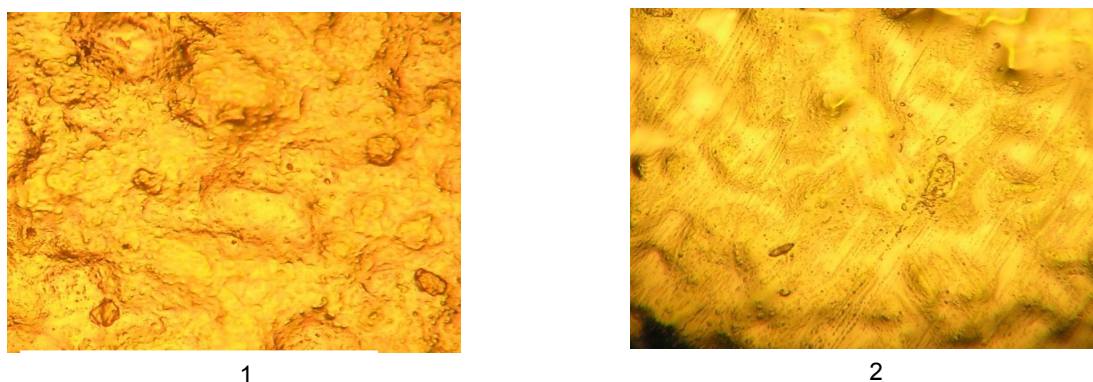


Рис. 5. Микроструктура медного покрытия на АБС-диэлектрике после наращивания 1 – в гальваностатическом режиме; 2 – после полирования. Увеличение $\times 500$

Выводы

Таким образом, образцы из АБС-пластмассы (ГОСТ 10087-62, ГОСТ 16336-77), обработанные в спиртовом растворе коллоидного графита, приобретают более развитую поверхность с большим количеством центров кристаллизации, чем при активации поверхности кислым раствором хлорида олова и спиртовым раствором нитрата серебра. При этом использование спиртового раствора коллоидного графита позволяет сократить количество технологических операций на этапе подготовки поверхности полимера к химической металлизации. Нанесение химическим способом медного подслоя позволяет получать при последующем электрохимическом наращивании качественные блестящие медные покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шалкаускас М. Химическая металлизация пластмасс / М. Шалкаускас, А. Вашкялис. 3-е изд., перераб. Л.: Химия, 1985. 144 с.
2. Иванов-Есипович Н.К. Физико-химические основы производства радиоэлектронной аппаратуры / Н.К. Иванов-Есипович. 2-е изд. М.: Высш. шк., 1979. 205 с.
3. Медведев А. Технология производства печатных плат / А. Медведев. М.: Техносфера, 2005. 360 с.
4. Аржанова Т.А. Беспалладиевая химическая и электрохимическая металлизация диэлектриков / Т.А. Аржанова; Дальневост. отд-ние РАН, Ин-т химии. Владивосток: Дальнаука, 1996. 180 с.

5. Химическая металлизация пластика ПВХ / Т.Ф. Юдина и др. // Гальванотехника и обработка поверхности. 2005. Т. 13. № 4. С. 26-31.

6. Гоц И.Ю. Влияние состава электролита на скорость химического меднения и качество гальванического медного покрытия / И.Ю. Гоц, С.М. Закирова, Н.Е. Попова // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедение и мехатроники: материалы Междунар. конф. Новочеркасск: 17-19 октября, 2011 г. Новочеркасск: ЛИК, 2011. С. 181-183.

Попова Светлана Степановна –
доктор химических наук, профессор кафедры
«Технология электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
(филиала) Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Svetlana S. Popova –
Dr. Sc, Professor
Department of Technology
of Electrochemical Productions
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Гоц Ирина Юрьевна –
кандидат химических наук, доцент кафедры
«Технология электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
(филиала) Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Irina Yu. Gots –
Ph. D., Associate Professor
Department of Technology
of Electrochemical Productions
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Закирова Светлана Михайловна –
кандидат химических наук, доцент кафедры
«Технология электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
(филиала) Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Svetlana M Zakirova. –
Ph. D., Associate Professor
Department of Technology
of Electrochemical Productions
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Рахметулина Лидия Анатольевна –
студентка кафедры
«Технология электрохимических производств»
Энгельсского технологического института
(филиала) Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Lidiya A. Rahmetulina –
Undergraduate
Department of Technology
of Electrochemical Productions
Engels Technological Institute
Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила к опубликованию 12.07.12, принята к опубликованию 06.09.12

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 629.113.004.67

Д.Н. Макеев

ВЛИЯНИЕ ВВОДИМЫХ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СВОЙСТВА СТАЛИ

Приводится описание влияния легирующих элементов на свойства стали. Введение в сталь в определенных количествах различных химических элементов, позволяет устранить недостатки углеродистой стали, улучшить ее механические свойства, а также получить те или иные особые физико-химические свойства, которыми углеродистая сталь не обладает, поэтому, добавляя их в определенных количествах и сочетаниях, можно получать стали с различными свойствами.

Легирующие стали, интерметаллические соединения, микротвердость интерметаллических фаз

D.N. Makeev

INFLUENCE OF ALLOYING ELEMENTS ON THE STEEL PROPERTIES

The article provides evidence of the influence of alloying elements on the steel properties. Introducing a certain amount of various chemical elements into the steel substance allows eliminating deficiencies in the carbonaceous steel, improves its mechanical properties, and results in the particular physical and chemical properties devoid in the carbonaceous steel. Therefore adding certain quantities and combinations of these elements can ensure variety for steel properties.

Steel alloying, intermetallic connections, microhardness of intermetallic phases

В настоящее время ведется создание новых конструкционных материалов, которые могут выдерживать действие низких и высоких температур, высокого давления и обладать определенным комплексом физических и механических свойств.

В связи с этим актуальное значение приобретает повышение прочности металлов и сплавов и надежности деталей, изготовленных из них, работающих в условиях высоких скоростей, давлений и температур.

Независимо от назначения и использования металлов и сплавов их производство должно осуществляться по совершенной и рациональной технологии, гарантирующей заданные качественные показатели и необходимую структуру материалов.

В последние годы все большее распространение получают биметаллические конструкции и узлы (железо с различными элементами), в том числе с металлической (диффузионной) связью между разнородными металлами [4]. Этому способствует быстрое развитие в различных отраслях промышленности, где преимущественно используют эти детали и узлы.

Введение в сталь в определенных количествах элементов, называемых легирующими, позволяет устранить недостатки углеродистой стали, улучшить ее механические свойства, а также получить те или иные особые физико-химические свойства, которыми углеродистая сталь не обладает. Влияние легирующих элементов на свойства стали разнообразно, поэтому, добавляя их в определенных количествах и сочетаниях, можно получать стали с различными свойствами: высокой прочностью и вязкостью при обычных и высоких температурах, хорошей стойкостью против действия агрессивных сред, особыми электротехническими и другими свойствами.

Железоалюминиевые изделия сочетают высокую жаропрочность, твердость, износостойкость сталей и малую плотность, а также высокую теплопроводность алюминиевых сплавов. Все эти свойства получаются при осуществлении алитирования стали, т.е. покрытия стали слоем алюминия определенной толщины. Образующийся в этом случае диффузионный слой определяет технологическую и эксплуатационную прочность, коррозионную стойкость и другие свойства биметаллического соединения.

Известно [4], что интерметаллические соединения обладают рядом ценных свойств, например имеют высокую точку плавления, значительную прочность, некоторые из них отличаются исключительной кислотостойкостью.

Литературные сведения о механических свойствах интерметаллических соединений немногочисленны, что, вероятно, объясняется значительными экспериментальными трудностями их получения и испытания, особенно в связи с высокой хрупкостью. Тем не менее механические свойства соединений в настоящее время имеют первостепенное значение. Знание свойств таких соединений важно не только в связи с упрочняющим эффектом, например в высокопрочных алюминиевых сплавах, но также и для получения материалов, обладающих новыми свойствами.

Известно [4], что сплавы на основе железа особенно склонны к образованию интерметаллических соединений из твердых или жидких растворов, поскольку их электронная структура с незаполненной *d*-электронной оболочкой благоприятна для возникновения соединений с металлическим типом связи. В частности, хорошо известно образование соединений типа *FeAl₃* из твердого раствора двойной системы железо – алюминий. Такие соединения обнаруживаются на диаграммах состав – свойство (в том числе на диаграммах состав – механические свойства) благодаря характерным изменениям свойств. Однако сведения о механических свойствах интерметаллических соединений системы алюминий – железо крайне ограничены, а прочность их при комнатной температуре не установлена. В некоторых случаях известна кристаллическая структура, но сведения о ней противоречивы. Изучение механических свойств, как правило, ограничивается измерением микротвердости этих соединений в алюминиевой матрице.

Легирование твердых растворов на основе интерметаллических соединений позволило бы значительно изменять их механические и другие свойства.

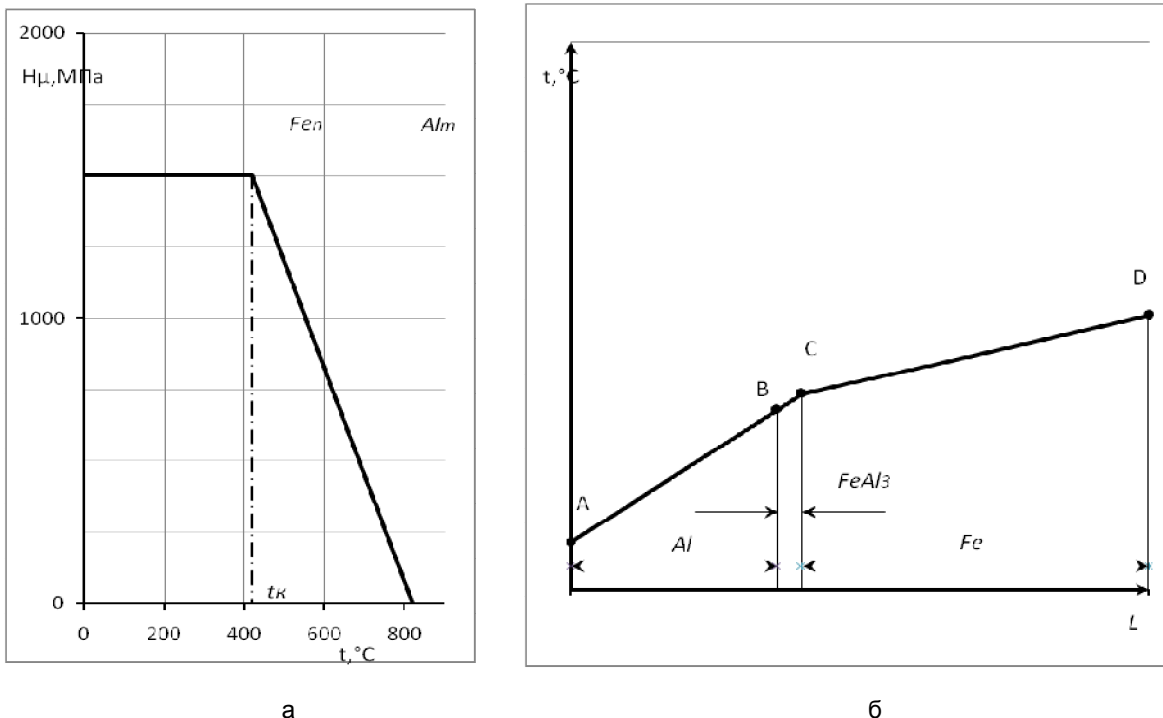


Рис. 1. Температурная зависимость твердости (а) и теплопроводности (б) интерметаллических фаз (AB соответствует стальной части образца, BC – соединению $FeAl_3$, CD – алюминиевой части образца) [4]

В образующемся при таком легировании многофазном сплаве определяющее влияние второй фазы сводится к повышению механических свойств сплава за счет ее собственной прочности, особенно при повышенных температурах. При этом зависимость прочности (твердости) интерметаллической фазы от температуры выражается прямой линией, имеющей перегиб (рис. 1а). Точка перегиба для этих соединений не равна половинному значению температуры плавления (tn), как для чистых

металлов, и расположена обычно в области $0,5-0,75 t_{nl}$, что для соединений $FeAl_3$ и Fe_2Al_5 составляет соответственно 460 и 450 °С. На основании этого высказана гипотеза о различных механизмах деформаций интерметаллических фаз, действующих по обе стороны от температурной точки перегиба (t_k): ниже точки t_k преобладает процесс скольжения, и можно предположить, что атомы их соединены сильными локализованными связями. Скольжение или перемещение атомов относительно друг друга происходят гораздо легче при повышенных температурах вследствие ослабления межатомных связей в области выше температурной точки t_k .

Сравнение микроструктур на различных участках образца в зоне контакта алюминия со сталью с кривой изменения теплопроводности позволило обнаружить небольшой участок с низким значением коэффициента теплопроводности – $7,94 \text{ ккал(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{град)}$ (рис. 1б).

Данные о микротвердости интерметаллических соединений в течение долгого времени были единственной информацией об их механических свойствах. Часто твердость при низких температурах служит более надежным показателем уровня прочности, чем обычные характеристики (пределы прочности и текучести), из-за чрезвычайной хрупкости этих материалов. Только при высоких температурах, когда наблюдается некоторая пластичность, имеется хорошая корреляция между прочностью и твердостью.

Результаты измерения твердости интерметаллических сплавов литого состояния приведены на рис. 2 (даны средние значения из 20-30 измерений).

Результаты измерения твердости интерметаллических сплавов состояния после отжига приведены на рис. 3 (даны средние значения из 20-30 измерений).

Микротвердость сплавов независимо от их фазового состава значительно выше микротвердости исходных компонентов – алюминия и железа. Для фаз Fe_2Al_5 , Fe_2Al_7 , $FeAl_3$ и $FeAl_2$ H_v колеблется в интервале 9600 – 11500 МПа, с увеличением содержания железа она падает до 6600 МПа для фазы $FeAl$ и до 2700 МПа для фазы Fe_3Al .

Микротвердость железоалюминиевых сплавов измеряли при комнатной температуре и далее при нагреве от 50 до 650 °С через каждые 50 град. Результаты измерений приведены на рис. 4.

Каждая точка – усредненный результат пяти-шести измерений.

Наибольшей твердостью при комнатной температуре обладает соединение Fe_2Al_5 (11500 МПа).

Твердость всех интерметаллических фаз при низких температурах уменьшается с ростом содержания железа, что согласуется с известными данными [2]. С увеличением температуры микротвердость соединений падает. Точка перегиба в значениях микротвердости лежит в пределах $0,3-0,5 t_{nl}$. Для фаз $FeAl_3$ и $FeAl_2$ разупрочнение наступает при $0,5 t_{nl}$; фаза Fe_2Al_5 разупрочняется при $0,45 t_{nl}$, фаза $FeAl$ – при $0,33 t_{nl}$. Наконец, для соединения Fe_3Al видимого перегиба кривой на графике не наблюдается – происходит постепенное снижение твердости.

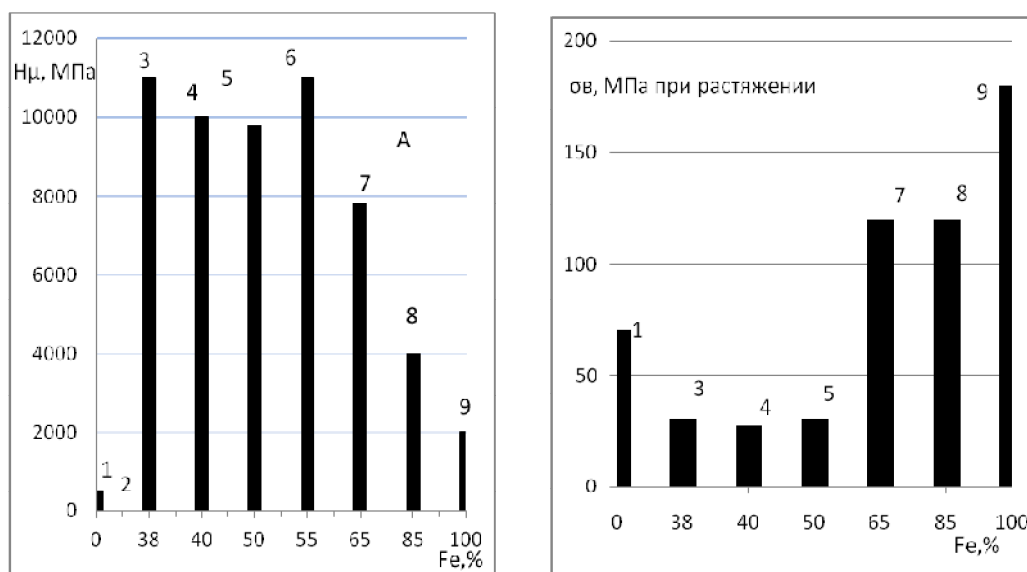


Рис. 2. Свойства интерметаллических фаз системы железо – алюминий [4]: 1 – Al; 2 – Al + $FeAl_3$; 3 – Fe_2Al_7 ; 4 – $FeAl_3$; 5 – Fe_2Al_5 ; 6 – $FeAl_2$; 7 – $FeAl$; 8 – Fe_3Al ; 9 – Fe

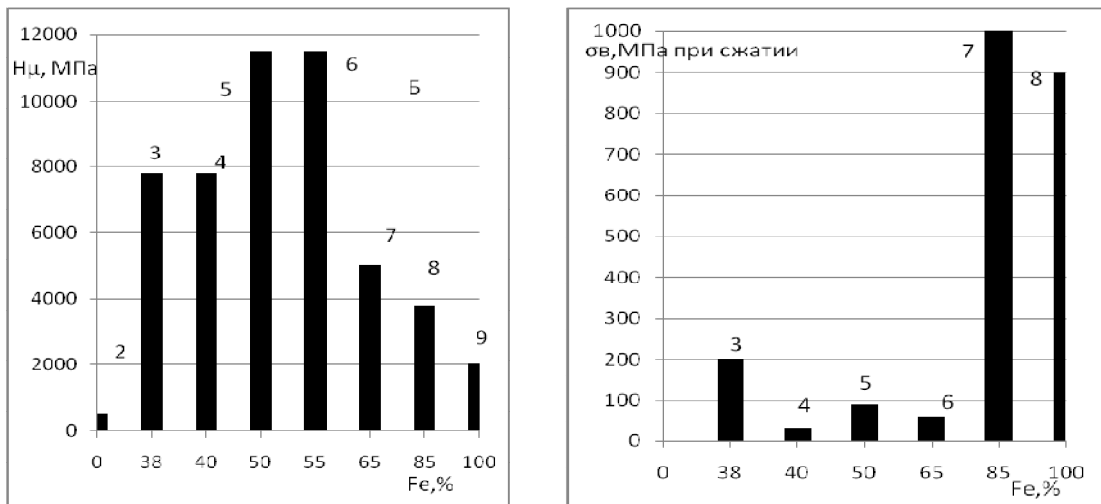


Рис. 3. Свойства интерметаллических фаз системы железо – алюминий [4]:
 1 – Al; 2 – Al + FeAl₃; 3 – Fe₂Al₇; 4 – FeAl₃; 5 – Fe₂Al₅; 6 – FeAl₂;
 7 – FeAl; 8 – Fe₃Al; 9 – Fe

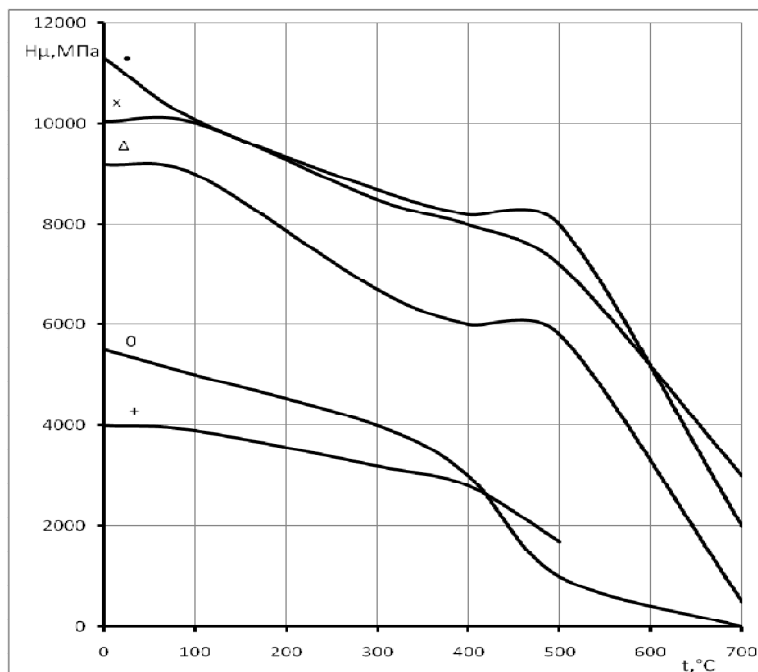


Рис. 4. Зависимость микротвердости интерметаллических фаз системы железо – алюминий от температуры [5]:
 X – FeAl₃, 600-550 °С; • – Fe₂Al₅, 550-500 °С; Δ – FeAl₂, 600-550 °С; 0 – FeAl, 450-400 °С; + – Fe₃Al

Приведенные данные представляют практический интерес, так как объясняют хорошую деформируемость алитированных листов при их пластической обработке при повышенных температурах и могут служить обоснованием выбора температуры обработки.

Прочность соединения алюминия с железом можно достигнуть различными методами. Одним из наиболее простых методов является введение в ванну методом прямого сплавления с применением дугового разряда, легирующих добавок в виде как индивидуальных металлов, так и их комбинации или интерметаллических соединений. Первостепенное значение для рационального выбора легирующих добавок имеет знание фазовых равновесий, а также составов и структур железоалюминиевых систем (тройных или с большим числом компонентов).

Рассмотрим влияние различных легирующих элементов на свойства стали.

Кремний как легирующий элемент в сталях содержится в количестве 0,5-0,6 % и более [1]. Сталь, легированная кремнием, обладает более высокими значениями предела текучести, упругости, ударного сопротивления, небольшим остаточным магнетизмом, хорошей прокаливаемостью, жароупорностью, способностью в закаленном состоянии сохранять твердость при относительно высоких температурах и другими полезными свойствами. Кремнием легируют стали различного назначения:

конструкционные (0,8-1,5% Si), инструментальные (1,2-1,6% Si); пружинно-рессорные (1,3-2,0% Si), жаро- и окалиностойкие (2,0-3,0% Si), динамно-трансформаторные (2,5-4,5 % Si) и др. Обычно сталь легируют кремнием в сочетании с другими примесями, чаще всего в сочетании с хромом и марганцем.

Кремний, содержащийся в металлической шихте, хотя во время плавки окисляется и теряется практически полностью, но на ход процесса, как правило, влияет положительно. Это выражается в улучшении теплового баланса плавки, поскольку среди обычных примесей металлической шихты кремний окисляется с выделением наибольшего количества тепла.

Марганец как легирующий элемент является одним из самых дешевых и наиболее распространенных в РФ. Это связано с тем, что, во-первых, РФ располагает значительными запасами марганцевых руд; во-вторых, относительно просто извлечение (восстановление) марганца из руд.

Марганец расширяет область γ -Fe, т.е. повышает устойчивость аустенита и увеличивает степень его переохлаждения. Благодаря этому марганец резко уменьшает критическую скорость заковки, поэтому марганцовистая сталь прокаливается значительно глубже, чем простая углеродистая. Растворяясь в феррите, марганец повышает прочность стали (пределы прочности и текучести), особенно в области содержания 0,1-0,5 % углерода (C), но несколько снижает пластичность стали (относительное удлинение и ударную вязкость). Марганец также повышает износостойкость, и упругость стали, широко применяется для легирования конструкционных, пружинно-рессорных, износостойких и других сталей.

Чаще всего применяют стали низко- (0,8-1,8 % Mn) и высоколегированные (10-15% Mn), в которых в качестве легирующих элементов могут быть также хром, никель и др. Марганец в легированных сталях часто является заменителем более дорогого и дефицитного никеля.

Марганец вследствие образования прочных карбидов несколько снижает пластичность стали, особенно при обычной температуре, поэтому в низкоуглеродистой стали, используемой для глубокой штамповки без нагрева (автомобильные кузова и др.), желателно низкое содержание (0,2-0,3%) марганца. Примерно такими же пределами ограничивается его содержание в углеродистой инструментальной стали, так как при более высоких содержаниях ухудшаются режущие свойства стали. Но при легировании инструментальной стали марганцем (1,0-1,5% Mn) ее качество повышается благодаря улучшению прокаливаемости.

Повышение технологических и эксплуатационных свойств стали в результате легирования ее марганцем, так же как и многими другими элементами, оказывается существенным обычно лишь тогда, когда сталь подвергается соответствующей термической обработке. Применение легированной стали без термической обработки часто не дает желаемого эффекта: затраты, связанные с легированием стали не в полной мере компенсируются улучшением качества стали.

Хром широко используется в качестве легирующей примеси, особенно в сочетании с никелем и некоторыми другими элементами: более 80 % марок легированных сталей в том или ином количестве (от 1-2 % в низколегированных до 25-30 % в высоколегированных) содержат хром. Однако в некоторых сталях хром является нежелательной примесью, и его содержание обычно ограничивают пределами 0,15-0,2%. В канатной стали содержание хрома должно быть не более 0,05-0,1 %, так как при более высоких содержаниях наблюдается ухудшение пластичности стали, что приводит к уменьшению срока службы канатов.

Хром, обладая сравнительно высоким химическим сродством к кислороду, в сталеплавильных ваннах окисляется довольно интенсивно, особенно при умеренно низких температурах начала плавки. Оксиды хрома и их соединения имеют высокую температуру плавления (1800-2000 °C) и ограниченную растворимость в сталеплавильных шлаках. Поэтому при значительном содержании хрома в исходной металлической шихте (чугуне или леме) получают гетерогенные, малоподвижные, склонные к пенообразованию шлаки, резко ухудшающие условия ведения плавки, особенно в мартеновских печах, где нагрев металла осуществляется через слой шлака. В связи с этим имеются пределы допустимого содержания хрома в исходной шихте не только в случае производства стали, в которой хром является нежелательной примесью, но и при производстве легированной хромом стали. Эти пределы зависят от конкретных условий ведения плавки.

Ванадий в стали является одной из ценнейших и полезных примесей и широко используется для раскисления и легирования при выплавке конструкционной, рессорно-пружинной, инструментальной и других сталей. По химическому сродству к кислороду ванадий занимает промежуточное положение между марганцем и кремнием, т. е. является не очень сильным раскислителем. Но образуя прочный нитрид, даже при содержаниях 0,07-0,10% ванадий существенно снижает вредное влияние азота, например делает сталь нестареющей.

Положительное влияние ванадия как легирующего элемента сказывается при содержаниях 0,15-0,25% и более. образуя тугоплавкие нитриды и карбиды, ванадий способствует измельчению

первичного и вторичного зерна, повышает твердость и износостойкость стали, а растворяясь в феррите, повышает предел текучести и улучшает пластичность (ударную вязкость). Только в нестарееющей кипящей стали ванадий является единственной легирующей примесью. В сталях других марок ванадий, как правило, используется в сочетании с другими легирующими элементами: никелем, хромом, молибденом, вольфрамом и др.

Характер взаимодействия алюминия с различными элементами исключает возможность образования непрерывных твердых растворов трех компонентов с участием алюминия. Этот вывод можно сделать на основании того, что ни с одним из элементов алюминий не образует непрерывных твердых растворов. Добавление третьего компонента может привести к уменьшению количества интерметаллических фаз и ограничению области их существования.

Система алюминий – железо – ванадий [4, 5]. В этой системе до последнего времени был исследован один сплав для проверки существования в нем тройного соединения со структурой типа фазы Гейслера и получены при этом отрицательные результаты (такое соединение в системе не образуется).

В исследованной области системы алюминий – железо – ванадий тройные интерметаллические соединения не образуются. После приготовления целого ряда сплавов и их исследования выяснилось, что в области $FeAl_3-V_5Al_8-VAL_3$ тройное соединение не появляется и что все три фазы находятся в тройном равновесии друг с другом. Существование равновесия $FeAl_3+FeAl$ подавляет растворимость ванадия в соединениях Fe_2Al_5 и $FeAl_2$. Поэтому на рентгенограммах тройных сплавов линии этих двойных соединений (Fe_2Al_5 и $FeAl_2$) не обнаруживаются (за исключением сплавов с небольшим количеством ванадия). Соединения Fe_2Al_5 и $FeAl_2$ находятся в равновесии с твердым раствором ванадия в двойном соединении $FeAl$. Границы областей твердых растворов ванадия в двойных соединениях $FeAl$, Fe_2Al_5 и $FeAl_3$, а также железа в соединении V_5Al_8 подробно не исследовались и на изотермическом сечении нанесены приблизительно.

Следует отметить, что фазовый состав сплавов в литом состоянии мало отличается от фазового состава сплавов, гомогенизированных при 800 °С. В литом состоянии несколько расширена область твердого раствора железа в соединении V_5Al_8 .

Тройная система **алюминий – железо – хром** частично изучалась [3]. Было установлено, что в богатой алюминием области системы тройные соединения не образуются и что соединения $CrAl_7$ и Cr_2Al_7 растворяют значительные количества железа, а соединение $FeAl_3$ растворяет хром. Более подробных сведений о системе алюминий – железо – хром в литературе нет.

Система алюминий – железо – марганец. Установлено, что в богатых алюминием сплавах системы алюминий – железо – марганец тройные соединения отсутствуют. В алюминиевом угле существует тройное эвтектическое равновесие $Al + FeAl_3 + MnAl_6$. Тройная эвтектика образуется при содержании железа 1,75% (по массе) и марганца 0,75% (по массе). Двойное соединение $MnAl_6$ растворяет значительные количества железа – до 14% (по массе), соединение $FeAl_3$ растворяет марганец в меньшей степени. Известно, что даже небольшие количества железа уменьшают растворимость марганца в алюминии.

Установлено, что при содержании алюминия около 10% и марганца около 35% α - и γ -фазы сосуществуют с фазой, имеющей структуру типа β -*Mn*. Определено также, что добавка 1-3% *Mn* значительно повышает твердость $FeAl$.

Система алюминий – железо – медь. Исследованию двойной системы алюминий – медь посвящено много работ [2], однако эту систему нельзя еще назвать полностью изученной, и в литературных данных имеется много расхождений. Система алюминий – медь является одной из самых сложных двойных систем. Согласно двойной диаграмме, в системе алюминий – медь существуют 10 соединений.

В области, богатой медью, образуется высокотемпературная β -фаза. Температурный интервал ее существования находится между 1048 и 545 °С. Согласно данным, полученным с помощью электронного микроскопа, в области β -фазы в зависимости от содержания алюминия происходит структурное упорядочение: фаза β переходит в β' -фазу, обладающую гранцентрированной решеткой типа Fe_3Al (BiF_3), которая при дальнейшем увеличении содержания алюминия образует β' , - и γ -фазы, структуры которых представляют собой многослойные плотнейшие упаковки.

Изучив влияние различных химических элементов на свойства стали можно эти данные использовать при восстановлении изношенных деталей для изменения физико-механических параметров рабочих поверхностей с целью повышения их ресурса.

Таким образом, сплавы железа с ванадием, медью, алюминием, марганцем и ряд других соединений успешно могут быть получены методом прямого сплавления с применением дугowego разряда. Влияние различных химических элементов на свойства стали можно использовать при наплавке под слоем флюса с получением заданных физико-механических параметров поверхностного слоя. Тем самым можно будет по-

лучить различные сплавы в зависимости от того, какой элемент и в каком количестве будет подаваться в наплавочную ванну. Этот способ наплавки позволит получать такие физико-механические параметры поверхностного слоя, которые будут отличаться от исходного материала восстанавливаемой детали, т.е. свойства (твердость, износостойкость и др.) рабочей поверхности будут выше исходной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бигеев А.М. *Металлургия стали* / А.М. Бигеев. М.: *Металлургия*, 1977. 440 с.
2. Вестбрук Д.Х. *Механические свойства металлических соединений* / Д.Х. Вестбрук. М.: *Металлургиздат*, 1962. 247 с.
3. *Интерметаллические соединения* / под ред. И.И. Корнилова. М.: *Металлургия*, 1970. 320 с.
4. Рябов В.Р. *Аллитирование стали* / В.Р. Рябов // М.: *Металлургия*, 1973. 240 с.
5. Синельникова В.С. *Алюминиды* / В.С. Синельникова, В.А. Подергин, В.А. Речкин. Киев: *Наук. думка*, 1965. 255 с.

Макеев Дмитрий Николаевич –
аспирант кафедры
«Автомобили и автомобильное хозяйство»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Dmitry N. Makeev –
Postgraduate
Department of Automobiles
and Automobile Economy
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 24.04.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 621.91.01

Д.В. Маношин, Т.Г. Насад

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ПРИБОРОВ В АВИАСТРОЕНИИ ИЗ ПРЕЦИЗИОННОГО СПЛАВА 36НХТЮ

Приводятся экспериментальные данные обработки прецизионного сплава 36НХТЮ. Выведены зависимости износа инструмента и получаемой шероховатости от режимов резания для данного сплава. Рассматривается влияние режимов обработки на окружную силу резания P_z .

Прецизионный сплав, износ, качество поверхности

D.V.Manoshin, T.G. Nasad

USING PRECISION ALLOY 36NHTIO TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF PARTS AND DEVICES IN AIRCRAFT MANUFACTURING

The article provides the experimental data for processing the precision alloy 36NHTIO. Dependences of the tool wear and the resulting roughness on the cutting modes for this alloy are deduced. Impact of the processing modes on the P_z cutting properties is considered.

Precision alloy, deterioration, surface quality

Производство авиационной техники в большей степени, чем любая отрасль современного машиностроения, обладает теми отличительными особенностями, которые создают его ярко выраженную отраслевую специфику. Это относится к большой номенклатуре деталей, к которым предъявляются высокие требования, как к качеству поверхности, так и к точности их изготовления, к различным материалам, обладающим специфическими физико-механическими свойствами, область которых разнообразна: от упругих, чувствительных элементов приборов и деталей высокой точности,

таких как мембрана, до сложных корпусных деталей. Особое внимание при обработке данных деталей уделяется точности и высокому качеству поверхности, что сложно достичь при механической обработке из-за быстрого износа режущего инструмента и, как следствие, низкой точности деталей.

К одним из основных технологических мероприятий, повышающих долговечность и надежность деталей машин, относятся выбор и назначение условий резания, обеспечивающих изготовление деталей заданной точности и стабильности как по размерам, так и по физико-механическим свойствам. К сожалению, существующие нормативы по режимам резания в большинстве случаев лишены связей с размерной стойкостью инструмента и точностью обработки [3].

Проведенный анализ на приборостроительном предприятии показал, что использование прецизионных сплавов составляет более 10,5%. (рис. 1) и обработка таких сплавов остается достаточно трудоемким и сложным процессом, из чего можно сделать вывод о целесообразности глубокого изучение обработки данных сплавов.

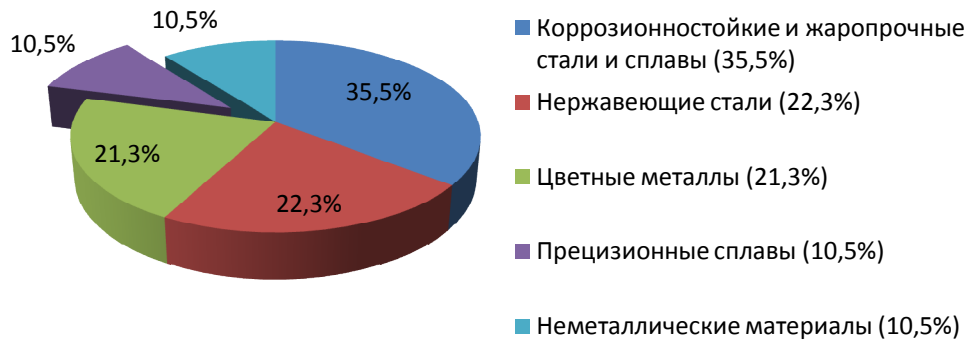


Рис. 1. Обзор используемых материалов в приборостроении

Поставленная задача заключалась в изучении процессов обработки данных материалов на примере сплава 36НХТЮ, а именно:

- получить экспериментальную модель зависимости износа инструмента и получаемой шероховатости от режимов резания;
- исследовать зависимость составляющей силы резания P_z от режимов обработки.

Для этого была проведена серия экспериментов. Обработка производилась на токарно-револьверном центре с ЧПУ модель SL-20HE. В качестве обрабатываемого материала использовался круглый прокат из сплава 36НХТЮ \varnothing 40 мм, твердостью 6HRC, после термической операции. Длина обработки $L=40$ мм. Используемый инструмент – твердосплавные пластины для обработки жаропрочных сплавов, материал пластины был определен по спектральному анализу на приборе «NITON XLt», который показал следующий состав: WC 90.68 ± 0.87 ; Co 5.71 ± 0.29 ; Cu 0.53 ± 0.15 ; Cr 0.64 ± 0.29 ; Ti 1.2 ± 0.57 . Для увеличения стойкости пластин было нанесено покрытие TiN толщиной 3 мкм. Обработка производилась на режимах, приведенных в табл. 1 [2].

Таблица 1

Режимы обработки сплава прецизионного сплава 36НХТЮ

Факторы	Минимальное значение	Максимальное значение
Скорость, м/мин.	50	70
Глубина резания, мм.	1,2	5,5
Подача, мм/об.	0,17	0,55

На основании проведенных экспериментов были выявлены следующие зависимости (1) для черновой обработки:

$$(1)$$

где V – скорость резания при черновой обработке; t – глубина резания; S – подача.

Данные зависимости показали, что повышение скорости оказывает положительное влияние, уменьшает силу резания P_z . Увеличение глубины резания и подачи, наоборот, повышает силу резания. Но их влияние на силу резания P_z при постоянной площади сечения срезаемого слоя $t \times s$, при разных отношениях t/s будет неодинаковым. Поэтому при точении, для того чтобы при заданной

площади сечения максимально уменьшить величину сил, необходимо уменьшить глубину резания и увеличить подачу, т.е. стремиться работать с возможно меньшим отношением t/s . Это объясняется тем, что глубина резания и подача оказывают разное влияние на степень деформации срезаемого слоя. На рис. 2 графически показано влияние скорости резания на окружную силу при черновой обработке со следующими режимами: $S=0,17$ мм/об, $t=1,2$ мм. На рис. 3 приведены зависимости влияния глубины резания и подачи на окружную силу.

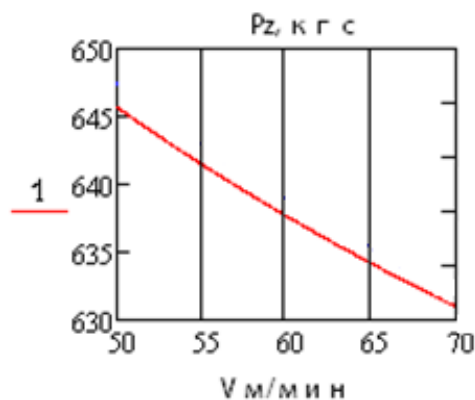
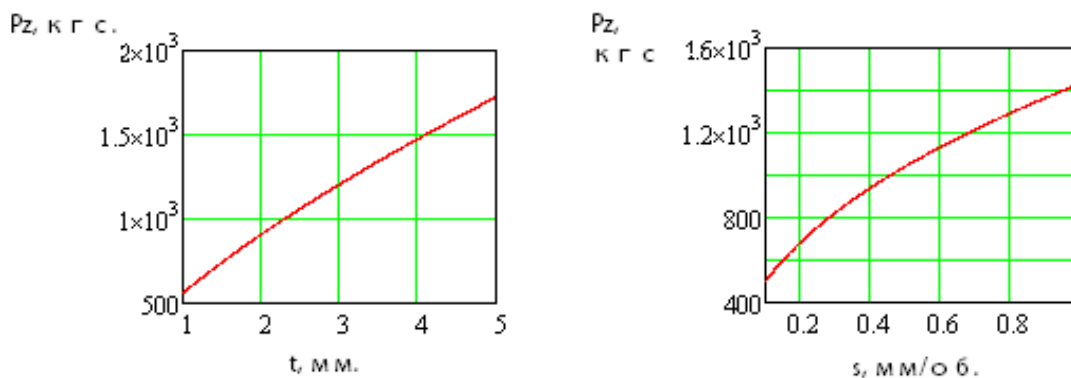


Рис. 2. График зависимости силы резания от скорости резания

Рис. 3. График зависимости силы резания от глубины резания и подачи при черновой обработке со следующими режимами: $S=0,17$ мм/об, $t=1,2$ мм

На основании следующей серии экспериментов была выявлена зависимость износа передней поверхности инструмента от режимов резания, в действительных значениях (2) и в степенном виде (3). Для изучения процесса был применен статистический метод планирования эксперимента. Обработка результатов проводилась при равномерном дублировании опытов.

$$\lg h_3 = -0.542 - 0.095 \times \frac{\lg V - 1.772}{0.073} + 0.415 \times \frac{\lg t - 0.41}{0.331} + 0.424 \times \frac{\lg S + 0.515}{0.255} \quad (2)$$

$$h_3 = K \times V^{-1.3} \times t^{1.2} \times S^{1.664} \quad (3)$$

где h_3 – износ инструмента в мм; $K=10^{2,121}$ – коэффициент, применяемый для материала 36НХТЮ; V – скорость резания при черновой обработке, м/мин; t – глубина резания, мм; S – подача, мм/об.

Данная зависимость показала, что наибольшее негативное влияние на износ инструмента при черновой обработке прецизионных материалов в диапазоне скоростей 50–70 м/мин оказывает подача. Также из полученной математической зависимости видно, что увеличение скорости, наоборот, оказывает положительное влияние на уменьшение износа инструмента, что означает необходимость исследования данного материала при высокоскоростной обработке. На рис. 4 показан график зависимости износа инструмента от глубины резания.

Следующими опытами была выявлена зависимость шероховатости поверхности от режимов обработки. Для этого сначала был проведен однофакторный эксперимент зависимости шероховатости от скорости, который показал, что имеются два экстремальных значения при $V=50$ и $V=70$ м/мин. В диапазоне скоростей резания от 30 до 50 м/мин идет интенсивное наростообразование, поэтому чистота поверхности ухудшается. При скоростях от 50 до 70 м/мин идет разрушение нароста и, как следствие, улучшение качества поверхности. Свыше 75 и до 170 м/мин идет постепенное ухуд-

шение качества (рис. 5). Исходя из этих данных, были проведены более подробные исследования участка со скоростью от 50-70 м/мин и получена математическая модель (4).

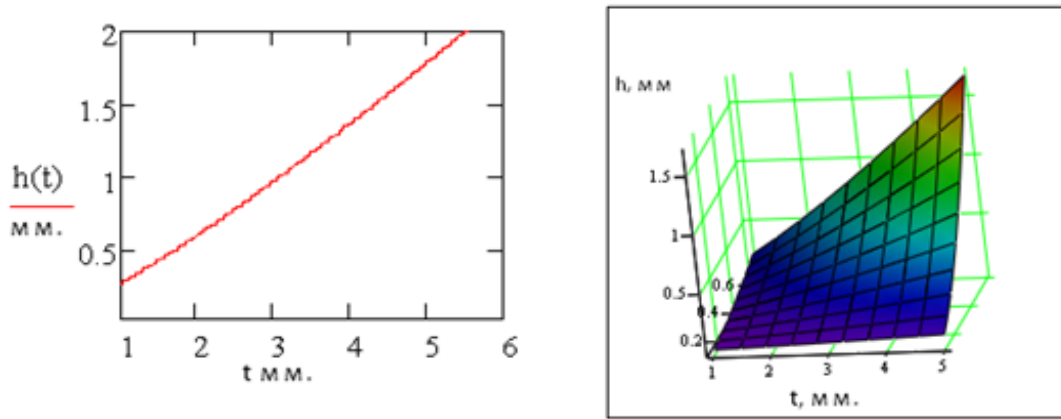


Рис. 4. График зависимости износа инструмента от глубины резания при черновой обработке со следующими режимами: $V=70$ м/мин, $S=0,5$ мм/об.

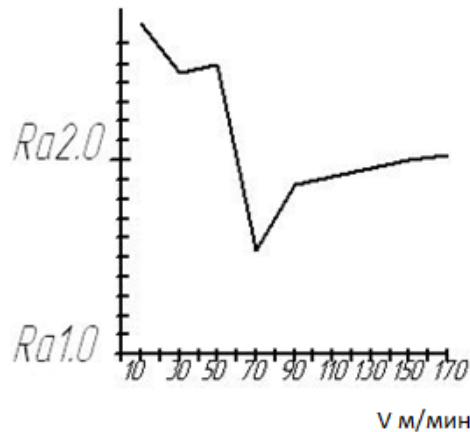


Рис. 5. Зависимости шероховатости от скорости резания

$$Rz = C \times V^{-1.356} \times t^{0.779} \times S^{0.729} \quad (4)$$

где $C=10^{3,958}$ – коэффициент, применяемый для расчета шероховатости материала 36НХТЮ.

На основании проведенных многофакторных экспериментов получены зависимости износа инструмента и получаемой шероховатости от режимов резания, которые позволяют рассчитать оптимальные режимы при черновой обработке прецизионных материалов в диапазоне скоростей от 50 до 70 м/мин. Также полученные модели позволяют прогнозировать процесс изнашивания инструмента в зависимости от свойств обрабатываемого материала и параметров резания, что позволяет сократить материальные затраты на используемый инструмент, а также повысить точность получаемых размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев С.Н. Метод повышения стойкости режущего инструмента / С.Н. Григорьев. М.: Машиностроение, 2009. 368 с.
2. Бобров В.С. Основы теории резания металлов / В.С. Бобров. М.: Машиностроение, 1975. 344 с.
2. Туманов А.Т. Справочник по авиационным материалам / А.Т. Туманов. М.: Машиностроение, 1986. Т. 1. 512 с.

Маношин Дмитрий Валерьевич – аспирант кафедры «Технология электрофизических и электрохимических методов обработки» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Dmitriy V. Manoshin – Postgraduate Department Technology for Electrochemical and Electrophysical Processing Methods Engels Technological Institute Part of Gagarin Saratov State Technical University

Насад Татьяна Геннадьевна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология электрофизических и электрохимических методов обработки» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Tatyana G. Nasad – Dr. Sc, Professor, Head: Department Technology for Electrochemical and Electrophysical Processing Methods Engels Technological Institute Part of Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 12.05.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 636.085.54

М.С. Напольских

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ЗЕРНОБОБОВЫХ СЭНДВИЧЕЙ

Посредством эксергетического анализа проведена оценка термодинамической эффективности технологических линий, предусматривающих получение экструдированного продукта, состоящего из мясорастительных компонентов, с учетом степени использования различных видов энергии, затрачиваемых в технологических процессах, исходя из свойств сырья, осуществленной над системой работы и суммарного количества всех видов энергии, привлеченных извне.

Эксергетический анализ, линия, мясорастительное сырье, экструзия

M.S. Napolskikh

ENERGY ANALYSIS IN THE PRODUCTION OF EXTRUDED LEGUMINOUS SANDWICHES

Using the exergy analysis, evaluation has been made of the thermodynamic efficiency of the line technology which provides extruded products including meat and vegetable ingredients to the extent that the different types of energy used for the production processes based on the properties of the raw materials, carried out for the system and the total amount of all types of energy, borrowed from outside.

Energy analysis, line, cereal raw materials, extrusion

Достижения теории, техники и технологии экструзии подготовили условия для научного подхода к инновационному развитию технологических процессов, обеспечивающих наименьшие затраты энергетических ресурсов при высоком качестве получаемых продуктов, в частности экструдированных зернобобовых сэндвичей с повышенным содержанием белка – новым продуктом на российском рынке. Важнейшим инструментом оценки термодинамической эффективности технологической системы является эксергетический анализ, который учитывает степень использования различных видов энергии, затрачиваемых в технологических процессах исходя из свойств сырья, осуществленной над системой работы и суммарного количества всех видов энергии, привлеченных извне.

В экструзионной технологии вспомогательные тепловые процессы играют важную роль в энергетических и механических превращениях и определяют термодинамическое равновесие. Эксергетический анализ предлагаемой технологии выполнен по методике [1], в соответствии с которой теплотехнологическая система производства зернобобовых сэндвичей (рис. 1) была условно отделена от окружающей среды замкнутой контрольной поверхностью. Внутри системы с учетом протекающих теплообменных процессов выделено несколько контрольных поверхностей (табл. 1).

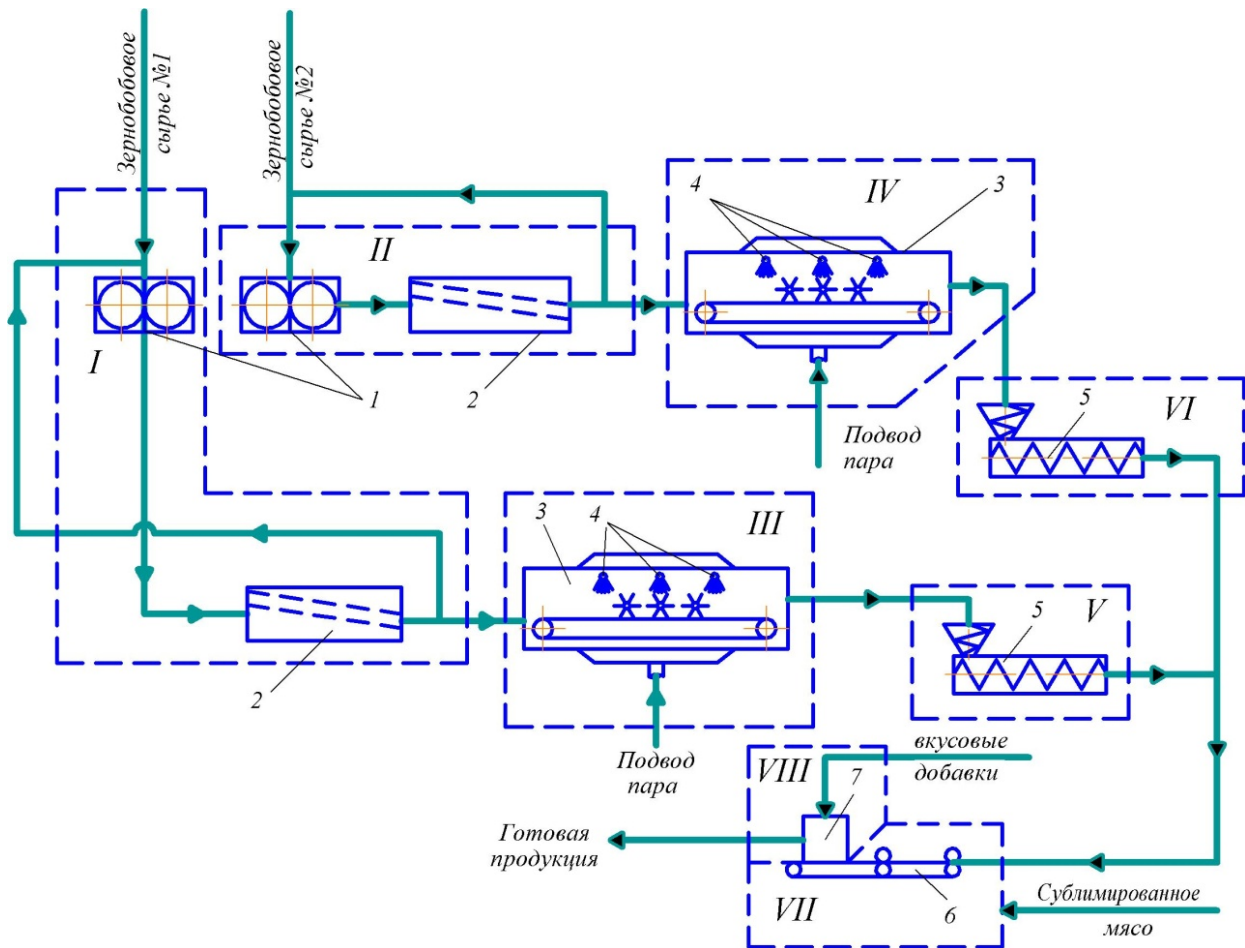


Рис. 1. Технологическая схема производства зернобобовых сэндвичей:
 1 – валковые дробилки; 2 – вибросито; 3 – устройства для ГТО сырья; 4 – форсунки; 5 – экструдеры;
 6 – ленточный транспортер с валками; 7 – камера формирования готовой продукции;
 — — — — — границы контрольных поверхностей

Таблица 1

Разделение рассматриваемой теплотехнологической системы на контрольные поверхности

№	Наименование технологических операций
I	Измельчение + просеивание (1 поток)
II	Измельчение + просеивание (2 поток)
III	Термовлажностная обработка (1 поток)
IV	Термовлажностная обработка (2 поток)
V	Экструдирование (1 поток)
VI	Экструдирование (2 поток)
VII	Подпрессовывание
VIII	Окончательная обработка

Схема обмена предлагаемой системы производства зернобобовых сэндвичей материальными, тепловыми и энергетическими потоками с окружающей средой, а также между контрольными поверхностями представлена на рис. 2.

Эксергия в каждой контрольной поверхности изучаемой технологической системы, состоящей из классических необратимых процессов, уменьшается с течением времени, что связано с диссипацией энергии [1, 2]:

$$\sum E_s = \sum E_p + \sum D, \tag{1}$$

где $\sum E_s$ – суммарная эксергия вводимых в систему материальных и энергетических потоков; $\sum E_p$ – суммарная эксергия выводимых из системы полезных материальных и энергетических потоков; $\sum D = T_0 \Delta S$ – суммарные эксергетические потери (уравнение Гюи-Стодолы).

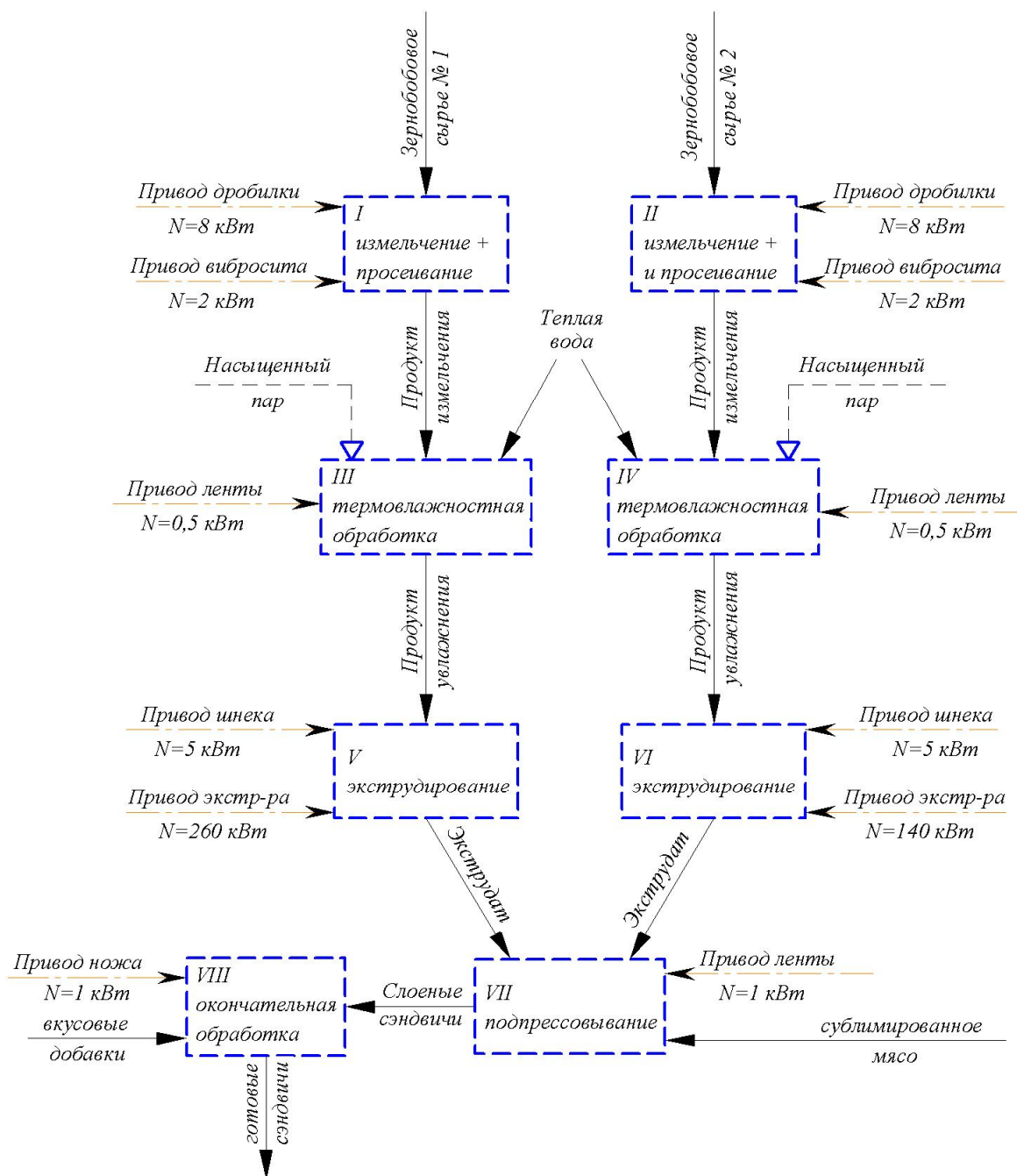


Рис. 2. Обмен потоками между контрольными поверхностями теплотехнологической системы: потоки: \blacktriangleright – продукта; \dashvtriangleright – пара; \dashvtriangleright – электроэнергии; \dashv – границы контрольных поверхностей

Соотношение (1) для рассматриваемой теплотехнологической системы производства сэндвичей [3] рассматривалось в следующем виде:

$$E_1^n + E_2^n + E_3^n + E_4^n + E_5^n + E_6^n + \sum E_9^n = E_1^k + \sum D_i + \sum D_e, \quad (2)$$

где слагаемые этих уравнений – эксергия (кДж): исходного зернобобового сырья (E_1^n – люпин, E_2^n – чечевица); насыщенного пара E_3^n ; воды для увлажнения сырья E_4^n ; сублимированного мяса E_5^n ; вкусовых добавок E_6^n ; готовых сэндвичей E_1^k ; сумма потерь эксергии в результате необратимости процессов, происходящих внутри контрольной поверхности $\sum D_i$; сумма потерь эксергии во внешнюю среду $\sum D_e$.

Уравнение (2) отражает изменение эксергии теплотехнологической системы производства экструдированных сэндвичей за счет ввода исходного сырья, насыщенного пара, воды, необратимых изменений структурно-механических свойств продукта, сопряженных с затратами электроэнергии на

приводы рабочих измельчителя и вибросита, нагрева в результате преобразования механической энергии рабочих органов экструдера в тепловую; покрытия потерь, возникающих вследствие необратимости процессов тепловой обработки сырья и продуктов; изменения их теплофизических свойств; компенсации потерь, обусловленных действием окружающей среды.

Эксергия вводимых в систему внешних материальных потоков $E_1^H - E_3^H, E_6^H$, находящихся в термодинамическом равновесии с окружающей средой, равна нулю, поэтому исключается из баланса.

В процессе нагрева сырья в технологическом оборудовании его химическая эксергия постоянна, так как его состав в процессе переработки не претерпевает изменений. Поэтому учитывается только его удельная термическая эксергия, определяемая на основании уравнения Гюи-Стодолы:

$$e_{э.к} = e - e_0 = h - h_0 - T_0(S - S_0), \quad (3)$$

где e, e_0, h, h_0, S, S_0 – удельная термическая эксергия, кДж/кг, удельная энтальпия, кДж/кг, и энтропия, кДж/(кг·К), продукта при текущих параметрах технологического процесса и в состоянии равновесия с окружающей средой.

Удельную изобарную теплоемкость зернобобовых культур, используемых в технологии, Дж/(кг·К) определяли по эмпирической формуле [4]:

$$c = 0,24 (0,27 + 0,01W_c), \quad (4)$$

где W_c – влажность сырья в пересчете на сухие вещества, %.

Удельную изобарную теплоемкость сублимированных говядины и свинины определяли по следующим эмпирическим формулам [5]:

$$c_{гов} = 1,00 + 1,74 \cdot 10^{-3}T, \quad c_{св} = 0,81 + 1,22 \cdot 10^{-3}T, \quad (4.1),$$

где T – температура сублимированного мяса, К (формулы справедливы в интервале 273...320 К).

Полезная эксергия продукта получает наибольшее приращение в экструдере за счет преобразования механической энергии его рабочих органов в тепловую. Существенное приращение эксергии наблюдалось в устройстве термовлажностной обработки при увлажнении с 10 до 16 %.

Теплофизические свойства веществ, образующих материальные потоки, взяты из справочной литературы [4-6].

В работе рассмотрено влияние на систему внутренних D^i и внешних D^e эксергетических потерь.

В суммарное количество внутренних эксергетических потерь входят потери от конечной разности температур в результате теплообмена между потоками сырья, электромеханические, возникающие при необратимом изменении структурно-механических свойств продукта (в дробилке и вибросите), и гидравлические потери, обусловленные внезапным увеличением удельного объема насыщенного водяного пара при ее поступлении во внутреннюю полость оборудования.

Потери, обусловленные конечной разностью температур между потоками, определяли по формуле

$$D^{тo} = Q^{тo} \bar{\tau}_e, \quad (5)$$

где $Q^{тo}$ – количество теплоты, переданное от одного потока к другому, кДж; $\bar{\tau}_e$ – среднее значение фактора Карно для двух взаимодействующих потоков.

Фактор Карно или эксергетическая температурная функция [1] равна термическому КПД цикла Карно между температурами контрольной поверхности и условно принятой окружающей среды:

$$\tau_e = (T_{кп} - T_0) / T_{кп}, \quad (6)$$

где $T_{кп}$ – температура теплоносителя (пара) внутри контрольной поверхности, К.

Эксергетические потери вследствие падения давления пара при его подаче в контрольные поверхности III, IV определяли по формуле

$$D^r = g \Delta H_r \frac{T_{кп}}{T_{вх}}, \quad (7)$$

где $T_{вх}$ – температура, К пара на входе в контрольную поверхность; ΔH_r – гидравлические потери, м.

По формуле Дарси-Вейсбаха [7] найдены гидравлические потери при входе пара в контрольную поверхность:

$$\Delta H_r = \xi \frac{v_{\text{вх}}^2}{2g}, \quad (8)$$

где $v_{\text{вх}}$ – средняя скорость прохождения пара по сечению подводящего трубопровода, м/с; ξ – коэффициент сопротивления, определяемый отношением внутреннего объема оборудования, рассматриваемого в качестве контрольной поверхности, к поперечному сечению входного отверстия.

Электромеханические потери эксергии тождественны мощности приводов оборудования и связаны с его необратимыми структурно-механическими изменениями [8].

Внешние потери D^e связаны с условиями сопряжения системы с окружающей средой и вычисляются по формуле

$$D^e = Q_{\text{из}} \tau_e, \quad (9)$$

где $Q_{\text{из}}$ – суммарные потери тепла в окружающую среду через контрольную поверхность, кДж; τ_e – фактор Карно.

Эксергетические потери готовых зернобобовых сэндвичей на выходе из камеры формирования готовых изделий при достижении ими термодинамического равновесия с окружающей средой были вычислены по следующей формуле

$$D_{\text{пр}} = h_{\text{пр}} - h_{\text{пр}}^0 - T_0 \bar{c} \ln \frac{T_{\text{пр}}}{T_{\text{пр}}^0}, \quad (10)$$

где $h_{\text{пр}}$, $T_{\text{пр}}$ – энтальпия, кДж/кг и температура, К, зернобобовых сэндвичей, \bar{c} – средняя удельная теплоемкость высушенных зернобобовых сэндвичей между их текущим состоянием в момент выгрузки и в состоянии термодинамического равновесия с окружающей средой, кДж/(кг·К).

Оценку термодинамического совершенства предлагаемой теплотехнологической системы проводили по эксергетическому КПД, исходя из значения эксергии готовых зернобобовых сэндвичей:

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{e^n}{\sum_{i=1}^n e_i^3} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^3 - \sum_{j=1}^m D_j}{\sum_{i=1}^n e_i^3}, \quad (12)$$

где e^n – удельная эксергия готовых сэндвичей, кДж/кг; $\sum_{i=1}^n e_i^3$ – суммарная затраченная удельная эксергия

(подведенная в систему извне), кДж/кг; $\sum_{j=1}^m D_j$ – суммарные эксергетические потери, кДж/кг.

Эксергия материальных и энергетических потоков, а также внутренние и внешние эксергетические потери, рассчитанные по формулам (5)-(10), составили эксергетический баланс рассматриваемой теплотехнологической системы (табл. 2), наглядно представленный диаграммой Грассмана-Шаргута (рис. 3). В качестве эксергетического параметра использована эксергетическая мощность. Обозначение потоков на рис. 3 представлено в табл. 3.

Полученный эксергетический КПД равен 38,7 %, что на 6,4 % выше, чем у прототипа [4]. Это говорит о повышении степени термодинамического совершенства системы при использовании предлагаемой технологии экструдирования при производстве пищевых продуктов.

Тот факт, что наибольший подвод эксергии осуществляется в контрольных поверхностях V и VI, говорит о целесообразности в дальнейших исследованиях рассматривать более детально именно эту часть теплотехнологической системы производства сэндвичей.

Обозначения потоков на диаграмме Грассмана-Шаргута

№ потока	Наименование потока	№ потока	Наименование потока
1	Люпин	11	Привод экструдера-1
2	Чечевица	12	Привод экструдера-2
3	Приводы дробилок	13	Экструдат-1 (люпин)
4	Приводы вибросит	14	Экструдат-2 (чечевица)
5	Продукт измельчения	15	Привод ленты
6	Насыщенный пар	16	Сублимированное мясо
7	Вода	17	Привод ножа
8	Привод ленты	18	Вкусовые добавки
9	Продукт увлажнения	19	Слоеные сэндвичи
10	Привод шнека	20	Готовая продукция

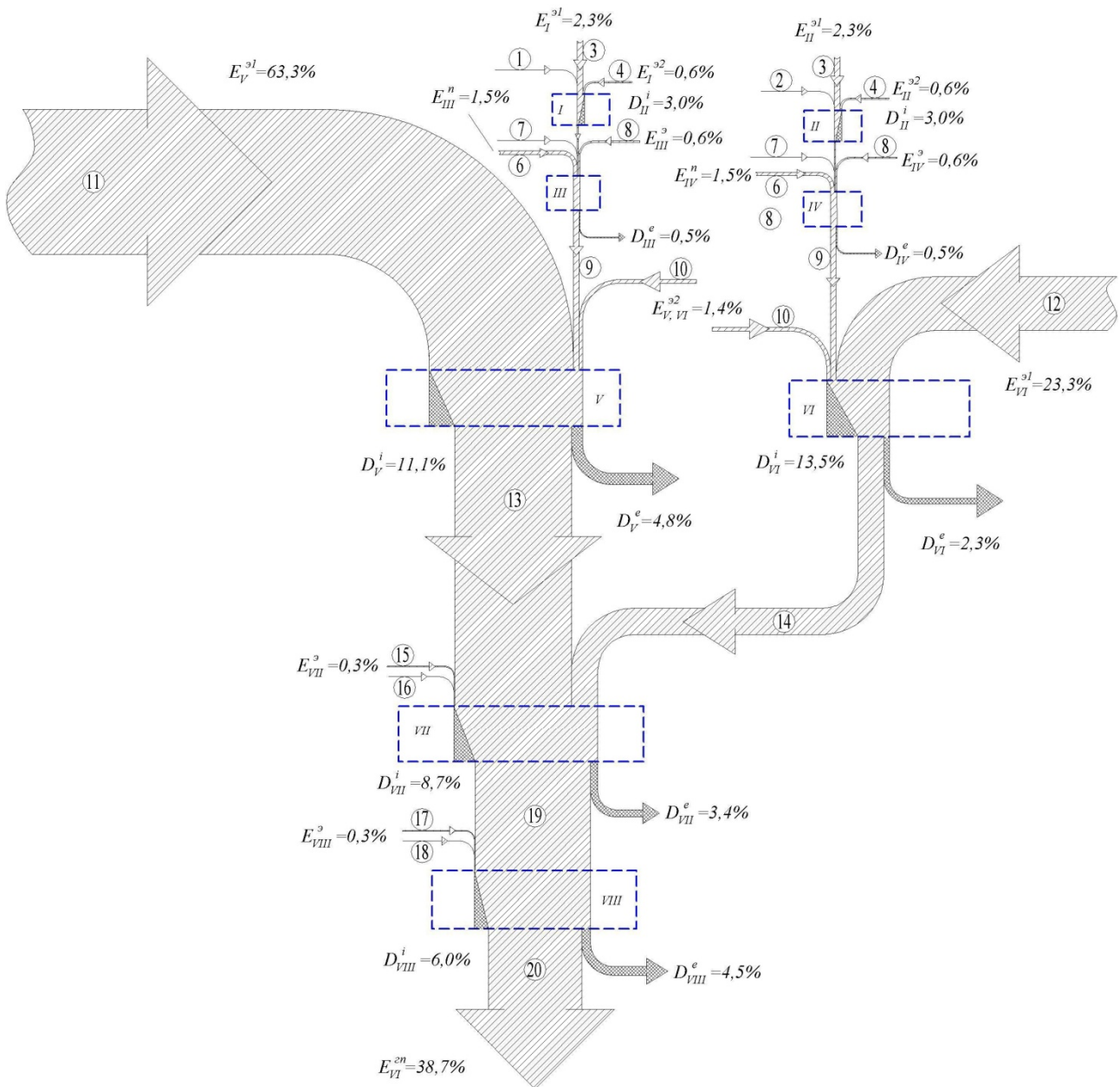


Рис. 3. Диаграмма Грассмана-Шаргута для теплотехнологической системы производства экструдированных сэндвичей: I – VIII – номера контрольных поверхностей; 1-20 – обозначения материальных и энергетических потоков

Таблица 3

Эксергетический баланс предлагаемой технологии производства экструдированных сэндвичей

Контрольная поверхность	Подвод эксергии			Отвод и потери эксергии			
	Наименование	$E, 10^3 \text{ кДж/ч}$	% от суммарной эксергии	Наименование	Обозначение	кДж/ч	% от суммарной эксергии
I	Привод дробилки	28,8	2,3	Внутренние потери	D'_I	37,5	3,0
	Привод вибросита	7,2	0,6				
II	Привод дробилки	28,8	2,3	Внутренние потери	D'_{II}	37,5	3,0
	Привод вибросита	7,2	0,6				
III	Теплая вода	0,1	0	Внешние потери	D^e_{III}	6,0	0,5
	Привод ленты	7,3	0,6				
	Насыщенный пар	18,1	1,5				
IV	Теплая вода	0,1	0	Внешние потери	D^e_{IV}	6,0	0,5
	Привод ленты	7,3	0,6				
	Насыщенный пар	18,1	1,5				
V	Привод дозирующего шнека	18	1,4	Внутренние потери	D'_{V}	137,9	11,1
	Привод экструдера-1	790	63,3	Внешние потери	D^e_{V}	59,3	4,8
VI	Привод дозирующего шнека	18	1,4	Внутренние потери	D'_{VI}	168,4	13,5
	Привод экструдера-2	290	23,3	Внешние потери	D^e_{VI}	29,0	2,3
VII	Привод ленты	3,6	0,3	Внутренние потери	D'_{VII}	108,9	8,7
				Внешние потери	D^e_{VII}	42,3	3,4
VIII	Привод ножа	3,6	0,3	Внутренние потери	D'_{VIII}	75,0	6,0
				Внешние потери	D^e_{VIII}	55,7	4,5
				Готовая продукция	E_{VIII}^m	482,7	38,7
И Т О Г О:		1246,2	100	И Т О Г О:		1246,2	100
Эксергетический КПД				$\eta_{\text{экс}} = E_{VI}^{zn} / \sum e_i^3 = 38,7 \%$			

ЛИТЕРАТУРА

1. Бродянский В.М. Эксергетический анализ и его приложения / В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. М.: Энергоатомиздат, 1988. 288 с.
2. Сажин Б.С. Эксергетический метод в химической технологии // Б.С. Сажин, А.П. Булеков. М.: Химия, 1992. 208 с.
3. Гинзбург А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов / А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Г.И. Красовская. М.: Пищевая промышленность, 1980. 290 с.
4. Богословский С.В. Физические свойства газов и жидкостей / С.В. Богословский. СПб.: СПбГУАП, 2001. 73 с.
5. Калашников Г.В. Ресурсосберегающие технологии пищевых концентратов / Г.В. Калашников, А.Н. Остриков. Воронеж: Изд. Воронежского университета, 2001. 356 с.
6. Василенко В.Н. Термодинамическая оценка технологической линии по переработке масличного и зернобобового сырья / В.Н. Василенко, Е.А. Татаренков, М.В. Копылов // Вестник ВГТА. 2011. № 1. С. 17-23.
7. Василенко В.Н. Эксергетический анализ технологических линий по производству функциональных продуктов / В.Н. Василенко, Е.А. Татаренков, Л.Н. Фролова, А.В. Пономарев // Вестник ВГТА. 2010. № 1. С. 19-24.

Напольских Максим Сергеевич – аспирант кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» Воронежского государственного университета инженерных технологий

Maksim S. Napolskikh – Postgraduate, Department of Chemical and Food Production Processes and Devices, Voronezh State University of Engineering Technology

Статья поступила в редакцию 24.07.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 621.9.02

А.Л. Плотников, Н.Г. Зайцева, В.А. Аветисян, Ньят Х. Динь

ПРОБНЫЙ ПРОХОД ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛА С ИЗМЕРЕНИЕМ ТЕРМОЭДС КАК СПОСОБ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ КОНТАКТНОЙ ПАРЫ: РЕЗЕЦ-СТАЛЬНАЯ ЗАГОТОВКА

Предложен способ предварительной оценки свойств контактной пары «резец- стальная заготовка» с целью повышения надёжности автоматизированного определения базовых параметров процесса резания на токарных станках с ЧПУ.

Надёжность расчёта, скорость резания, сила резания, качество обработки, термоЭДС

A.L. Plotnikov, N.G. Zaitseva, V.A. Avetisian, Njat H. Din

The mode of a tentative estimation of properties of a contacting pair «a cutting tool - steel preform» for the purpose of heightening of reliability of the automatized definition of base parameters of process of cutting on CNC lathes is offered.

Calculation reliability, rate of cutting, force of cutting, quality of handling, thermoEMF

Одной из причин неточности расчёта значений параметров процесса лезвийной обработки металла с использованием аналитических зависимостей является использование в них осреднённых значений безразмерных силовых, скоростных и поправочных коэффициентов на свойства металла и инструмента. Ошибки между рассчитанными на стадии проектирования значениями параметров процесса резания и измеренными при его осуществлении могут достигать полутора-двукратной вели-

ны. Это проявляется при выборе значения скорости резания, призванной обеспечить задаваемое время работы инструмента, определения расчётным путём точного значения силы резания, по величине которой определяется мощность резания, величина крутящего момента, зажимное усилие заготовки и ряд других важных параметров технологического процесса. Сюда же относится и проблема точного определения расчётного значения параметров шероховатости обработанной поверхности. Ошибки определения вышеназванных параметров процесса резания отрицательно сказываются на надёжности автоматически выполняемого процесса резания. Неточность расчёта математических моделей процесса резания является следствием допустимого по техническим условиям изготовления разброса свойств как со стороны инструментального так и обрабатываемого материала. Решение этих проблем лежит на пути предварительной оценки физико-механических свойств каждой контактной пары [1]. Даже предварительная оценка свойств одной из составляющих пары (например, инструмента) значительно повышает надёжность автоматически выполняемого процесса механической обработки.

Анализ существующих формул для расчета параметров процесса лезвийной обработки [2] показал, что для повышения точности расчета необходимо кроме марки стали, марки твердого сплава, геометрии режущего инструмента учесть ряд дополнительных факторов, которые оказывают значительное влияние на стабильность процесса резания. Ими со стороны режущего инструмента являются:

1. Изменение химического и фазового состава связующей кобальтовой фазы твердосплавных инструментов всех марок при спекании, допускаемое техническими условиями на его изготовление, что определяет изменение режущих свойств внутри партий спекания в 1,5 – 2 раза. Между партиями спекания эти изменения достигают 2-х – 3-х кратной величины.

2. Изменение химического и фазового состава твердого сплава изменяет его теплопроводность. От соотношения теплопроводности контактируемых пар зависит характер распределения тепловых потоков в инструмент и деталь, влияющий на уровень температур и уровень контактных нагрузок и, как следствие, на величину периода стойкости инструмента, величину микронеровностей обработанной поверхности.

Со стороны обрабатываемой стали:

1. Колебание химического состава стали в пределах допуска по ГОСТ; изменение структурно-фазового состава стали, определяющие характер деформирования срезаемого слоя, уровень контактных нагрузок на режущее лезвие и интенсивность износа инструмента.

2. Химический, фазовый состав, структурное состояние стали определяют ее теплопроводность, которая через соотношение с теплопроводностью инструмента определяет уровень температуры резания, степень упрочнения стали в условиях высокоскоростного пластического деформирования и влияет на механизм формирования микронеровности.

Сочетание химических, теплофизических свойств контактируемых пар сталь – твердый сплав вместе с технологическими величинами – подачей, глубиной резания, скоростью резания, геометрией резца, наличием или отсутствием СОЖ определяют условия резания. Эти условия, в свою очередь, определяют работоспособность резца на задаваемый отрезок времени (период стойкости), возможности обеспечить качество, точность, надежность и производительность обработки. Обладая полной оперативной информацией о свойствах контактируемой пары и условиях резания, можно значительно повысить точность базовых математических зависимостей. Для автоматизированного станочного оборудования такого как станки с ЧПУ с перспективой развития многостаночного обслуживания, наличие точных математических зависимостей процесса резания – один из важных факторов стабильной и надежной работы. Однако перечисленные выше факторы со стороны режущего инструмента и обрабатываемой стали, влияющие на стабильность процесса резания, не учитываются существующими методиками расчета элементов режима обработки и обуславливают значительные ошибки в расчётных формулах.

Не представляется возможным в цеховых условиях определять методами разрушающего контроля, хотя бы выборочно, химический и фазовый состав, теплофизические характеристики твердосплавных инструментов и стальных заготовок. Проблемным является и перенос результатов разрушающего контроля свойств одних контактируемых пар на другие из-за большого диапазона колебания их химического и фазового состава. К тому же значения механических и теплофизических характеристик контактируемых пар в процессе испытания в условиях комнатных температур и в условиях резания различны [3].

Рациональным выглядел бы оперативный неразрушающий контроль свойств каждой пары: твердосплавный инструмент – сталь, результаты которого можно было бы использовать для точного расчета элементов режима резания и автоматизации расчета режимной части управляющих программ

на станках с ЧПУ. Взаимосвязанное влияние многих факторов на задаваемую величину периода стойкости инструмента ставит задачу отыскания и использования такого рода параметров, которые обладали бы наибольшей информативной ценностью и через точное совпадение задаваемого в расчетах периода стойкости с действительным обеспечивали бы стабильность протекания процесса резания. Для повышения точности расчета базовых параметров процесса лезвийной обработки необходимо иметь оперативную информацию о фазовом составе твердосплавного инструмента (его режущих способностях), информацию об упрочненном состоянии стали в процессе резания, оценить сочетание свойств стали и инструментального материала и условия в зоне резания. Таких данных в справочно-нормативной литературе нет. Одним из путей решения этой задачи может быть метод предварительного пробного прохода на строго фиксированных режимах резания для каждой пары инструмент – деталь с измерением возникающей при этом термоэлектродвижущей силы и использованием величины термоЭДС пробного прохода для оценки свойств контактируемых пар и условий резания [1].

В предлагаемом методе предварительного пробного прохода величина термоЭДС используется не как традиционная характеристика уровня температур в зоне резания, а как интегральный показатель физико-механических свойств контактируемых пар. Почему при наличии магнитных, акустических и ряда других методов выбран метод пробного прохода, а величина термоЭДС контактируемых пар использована в качестве интегрального параметра свойств пары сталь – твердый сплав и оценки условий резания? В пользу выбора метода пробного прохода послужили следующие доводы:

1. Отсутствие промышленных датчиков для оперативной оценки неразрушающим методом вышеперечисленных факторов со стороны твердого сплава и стали одновременно, которые определяют количественную зависимость составляющих силы резания, величину допустимых скоростей резания, качества обработки и, в конечном итоге, определяют уровень надежности автоматически управляемого процесса резания.

2. Труднодоступность зоны резания для встройки каких-либо датчиков с целью получения оперативной информации о свойствах контактируемых пар и условиях резания непосредственно на станке, где сочетание свойств контактных пар происходит случайным образом.

3. Необходимость получения комплексной оценки теплофизических свойств контактируемых пар в реальных условиях резания, то есть получения оперативной информации о химическом, фазовом составе, структуре стали, ее теплопроводности и степени упрочнения, информации о режущих свойствах инструмента до начала процесса резания.

4. Наличие неотъемлемого, всегда сопутствующего процессу резания сигнала термоЭДС естественной термопары, дающего возможность вести 100% контроль сочетания свойств контактируемых пар.

Анализ физических основ генерирования сигнала термоЭДС [4] показывает, что её величина может служить косвенной характеристикой контактных пар, составленных из разнородных материалов. В общем виде величина термоЭДС естественной термопары определяется выражением (1).

$$E = (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot (\Theta_a - \Theta_b) = \alpha_{1-2} (\Theta_a - \Theta_b) \quad (1)$$

где α_1 и α_2 – значения удельной или дифференциальной термоЭДС для двух различных материалов; $\alpha_{1-2} = \alpha_2 - \alpha_1$ – удельная или дифференциальная термоЭДС для данной пары, зависящая от природы контактируемых тел и температуры и представляющая для условий пробного прохода контактную составляющую термоэлектрического сигнала или разность работ выхода электронов из стали и твердого сплава; Θ_a и Θ_b – установившиеся температуры горячего и холодного спаев естественной термопары.

При смене контактируемой пары сталь – твердый сплав величина термоЭДС меняется как под воздействием удельной термоЭДС (α_{1-2}), представляющей собой разность работ выхода электронов из стали и твердого сплава, так и за счет разности температур горячего (зона резания) и холодного (температура окружающей среды) спаев термопары. Работа выхода электронов из металлов имеет тесную корреляционную связь с их физико-механическими свойствами. Это позволяет использовать величину термоЭДС естественной термопары, измеренной при тестовом (пробном) проходе не только как информацию о температуре, но и как интегральный показатель свойств контактируемых пар. В возможности одновременной оперативной оценки свойств стали и твердого сплава и условий резания основная информационная ценность сигнала термоЭДС, его особенность и его преимущество перед другими методами. В условиях кратковременного (4-5 секунд) пробного прохода, одинаковых для любых сочетаний сталь – твердый сплав, основной вклад в общий уровень термоЭДС при смене инструмента или заготовки вносит значение удельной термоЭДС, т.е. разность работ выхода электронов из стали и твердого сплава, имеющая устойчивую корреляцию с физико-механическими свойствами контактной пары. Второй сомножитель в формуле (1) несёт информацию об условиях резания.

На основе экспериментальных данных при обработке серии конструкционных и легированных сталей твёрдосплавными инструментами были получены функциональные зависимости силовых (C_p), и скоростных (C_v) коэффициентов при точении в формулах расчёта составляющих силы резания и скорости резания, а также коэффициента K_o в формуле расчёта параметра шероховатости R_a от величины термоЭДС пробного прохода.

Значение скорости резания при токарной обработке [5] предлагается определять по зависимости:

$$V = \frac{A - kE}{T^{0,2} \cdot S^{0,35} \cdot t^{0,15}} \quad (2)$$

где A – постоянная, равная 202 при черновом точении, 378 при получистовом и чистовом, 239 при тонком чистовом точении; k – коэффициент, равный соответственно для стадий черновой обработки 1,8; для получистовой и чистовой 16,2 и для тонкого чистового точения 6,0.

Аналогично уравнению (2) были получены функциональные зависимости по оперативному определению силовых коэффициентов в формулах расчёта составляющих силы резания при точении

Скорректированные математические зависимости по определению составляющих силы резания [6] выглядят следующим образом:

$$P_z = (A_z + K_z \cdot E) \cdot t^1 \cdot S^{0,75} \cdot V^{-0,15} \quad (3)$$

$$P_y = (A_y + K_y \cdot E) \cdot t^{0,9} \cdot S^{0,6} \cdot V^{-0,3} \quad (4)$$

$$P_x = (A_x + K_x \cdot E) \cdot t^1 \cdot S^{0,5} \cdot V^{-0,4} \quad (5)$$

где t – глубина резания, мм; S – подача, мм/об; V – скорость резания, м/мин; E – термоЭДС пробного прохода, мВ; A_z, A_y, A_x – постоянные, соответственно равные 320; 300; 360, определенные из условий предварительной обработки; K_z, K_y, K_x – коэффициенты, соответственно равные 5,5; 10; 7.

Введение в формулы для расчета составляющих силы резания переменного значения коэффициентов C_{Pz}, C_{Py}, C_{Px} , зависящих от сочетания теплофизических характеристик сталей и твердых сплавов повышает точность определения составляющих силы резания.

Автоматизированный расчёт параметра шероховатости R_a на токарных станках с ЧПУ [7] при получистовой и чистовой обработке металла твёрдосплавным инструментом предлагается производить с использованием измеренного значения термоЭДС пробного прохода и рабочих параметров процесса резания (подачи S , скорости резания V), включая геометрические параметры резца (радиус при вершине резца r , передний угол резца γ) по базовой формуле (6), приведённой в работе [2] с той лишь разницей, что значение коэффициента K_o рассчитывается на основе линейной зависимости $K_o = f \cdot (E)$:

$$R_a = K_o \frac{S^{0,85} (90 + \gamma)^{0,65}}{r^{0,36} \cdot V^{0,15}}, \text{ мкм} \quad (6)$$

где $K_o = A + \kappa \cdot E$ – поправочный коэффициент на физико-механические свойства контактной пары.

A – постоянная, равная 0,474, определённая из условий предварительной обработки. κ – коэффициент, равный 0,11, определённый из условий предварительной обработки ($V = 100$ м/мин, $S = 0,1$ мм/об, $t = 1$ мм); E – термоЭДС пробного прохода, мВ.

Выводы:

Использование в предлагаемых способах автоматизированного расчёта указанных величин термоЭДС пары инструмент – обрабатываемый металл, измеренной в условиях пробного прохода, повышает точность расчёта, так как термоЭДС используется как обобщенная характеристика свойств твёрдосплавного инструмента, обрабатываемости металла и условий резания. Ошибки расчёта по уточнённым зависимостям лежат в пределах 15-20%, что значительно повышает уровень обеспечения надёжности автоматически выполняемого процесса резания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плотников А.Л. Управление параметрами процесса лезвийной обработки на станках с ЧПУ: монография. Тольятти : ЗАО «ОНИКС», 2012. 231 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.М.Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2003. Т. 1. 912 с.
3. Талантов Н.В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента. М.: Машиностроение, 1992. 240 с.

4. Елифанов Г.И. Физика твердого тела: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1977. 288с.
5. Патент № 2063307 Россия, С1 В 23 В 25/06. Способ определения допустимой скорости резания при механической обработке детали твёрдосплавным инструментом / А. Л. Плотников. Заявка №94010673/08 от 29.03.94. Оpubл. Бюл. №19 от 10.07.96.
6. Патент № 2120354 Россия, С1 В 23 В 25/06. Способ определения составляющих силы резания на токарных станках с ЧПУ / А.Л. Плотников, В.В. Еремеев. № 97116947/20; Заявлено 14.10.97; Бюл. № 29, 1998.
7. Плотников А.Л. Расчёт и обеспечение режимов резания в САПР ТП на станках с ЧПУ при точении углеродистых сталей по требуемому параметру шероховатости поверхности / А.Л. Плотников, А.С. Сергеев, Н.Г. Зайцева // Металлообработка. 2012. № 3. С. 42-45.

Плотников Александр Леонтьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов» Волгоградского государственного технического университета

Aleksandr L. Plotnikov – Dr. Sc., Professor of the Department Automated Production Processes Volgograd State Technical University

Зайцева Наталья Григорьевна – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Волгоградского государственного технического университета

Natalya G. Zaitseva – Postgraduate of the Department Automated Production Processes Volgograd State Technical University

Аветисян Ваган Акопович – магистрант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Волгоградского государственного технического университета

Vagan O. Avetisian – Master of Sciences of the Department Automated Production Processes Volgograd State Technical University

Динь Ньят Х. – магистрант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Волгоградского государственного технического университета

Njat H. Din – Master of Sciences of the Department Automated Production Processes Volgograd State Technical University

Статья поступила в редакцию 12.08.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 621.623

О.П. Решетникова, А.В. Королев, А.С. Носков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СПОСОБА ЛОБОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ КОЛЕЦ УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ

Рассматривается новая перспективная технология шлифования колец упорных подшипников торцом чашечного шлифовального круга. Приведены результаты проведенных экспериментальных исследований, описано влияние режимов обработки на геометрические параметры дорожек качения упорных подшипников.

Подшипник, геометрические параметры, шлифование

O.P. Reshetnikova, A.V. Korolev, A.S. Noskov

EXPERIMENTAL RESEARCH OF AN EMERGING METHOD FOR BEARING RING GRINDING

The article discusses an emerging technology for grinding thrust bearing rings by means of the end face of a cup-shaped grinding wheel. The authors present the experimental data, describe the impact of the processing modes on the geometrical parameters of raceway thrust bearings.

Bearing, geometrical parameters, grinding

Весьма важным направлением в повышении качества опор трения качения является технологическое обеспечение рациональной геометрической формы из рабочих поверхностей, в частности дорожек качения. В настоящее время заданные размеры и форму упрочненных поверхностей деталей обеспечивают на операциях шлифования. При изготовлении колец подшипников значительная роль отводится операциям шлифования дорожек качения, на которых достигается требуемая точность дорожек, а следовательно и подшипника в целом.

Особую сложность представляет шлифование торцевых фасонных поверхностей. Обычно при обработке таких поверхностей применяют процесс шлифования периферией шлифовального круга методом врезания [1]. Методом врезания достигается более высокая геометрическая стабильность параметров профиля дорожки качения, более высокая геометрическая точность осевого биения дорожки качения. Однако этот метод не лишен серьезных недостатков: низкая степень самозатачивания шлифовального круга приводят к тому, что последний быстро «засаливается», поэтому требуется частая правка круга, в связи с чем наблюдается повышенный расход кругов и правящего инструмента, неравномерный износ шлифовального круга из-за неравенства окружностей различных точек периферий круга.

На кафедре «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. разработана прогрессивная технология шлифования фасонных поверхностей типа дорожек качения колец упорных подшипников торцом чашечного шлифовального круга (заявка на патент № 2012102205).

По сравнению с дисковым шлифовальным кругом чашечный круг имеет значительно больший размер рабочей поверхности, в результате чего снижается его износ и появляется возможность правки круга после обработки нескольких деталей. Шлифовальный круг работает длительное время без замены.

Для обеспечения заданных параметров качества дорожек качения колец упорного подшипника чашечным шлифовальным кругом важно определить рациональные режимы резания. Для определения этих режимов провели экспериментальные исследования процесса шлифования.

В качестве объекта исследований использовались кольца подшипников 1118-2902840-04. Подшипник предназначен для восприятия радиальных и осевых нагрузок в верхней опоре стойки передней подвески автомобилей семейства ВАЗ, моделей «Калина», «Приора» и «Гранта».

С целью проведения экспериментальных исследований процесса шлифования дорожек качения упорных подшипников был модернизирован станок модели ТПК-125М.

Шлифование дорожек качения упорных подшипников велось по следующей схеме (рис. 1). Ось вращения кольца упорного подшипника 4 устанавливают под острым углом α к направлению подачи шлифовального круга 1, а ось шлифовального круга 1 устанавливают вдоль направления подачи S круга. Шлифовальный круг подвергают правке, в результате которой придают его рабочей поверхности тороидальную форму профиля 3, которая является зеркальным отражением формы профиля, которую требуется получить на обрабатываемой поверхности детали.

В процессе шлифования деталь 4 и шлифовальный круг 1 вращают в противоположных направлениях, осуществляют быстрый подвод шлифовального круга к обрабатываемой поверхности, а затем осуществляют врезание рабочей поверхности круга в поверхность детали с рабочей подачей S , обеспечивающей заданный размер. После достижения заданного размера детали шлифовальный круг отводят в исходное положение.

Угол α устанавливают таким образом, чтобы каждая режущая кромка абразивного инструмента в процессе вращения шлифовального круга периодически входила и выходила из контакта с обрабатываемой поверхностью 2 детали 4. Это обеспечивает очистку рабочей поверхности инструмента от стружки, способствует отводу тепла из зоны обработки и повышению производительности обработки.

Так как ось вращения шлифовального круга установлена в направлении подачи, то износ круга не влияет на диаметр шлифуемой поверхности, что обеспечивает высокую точность обработки и возможность осуществления правки шлифовального круга после обработки нескольких деталей.

Ось шлифовального круга устанавливалась вдоль направления его подачи, а обрабатываемая деталь закреплялась в патрон бабки изделия под углом $\alpha = 5-8^{\circ}$ градусов к этому направлению. Выбор такого диапазона угла разворота оси детали обеспечивает, с одной стороны, хорошую очистку шлифовального круга от стружки и шлама, а с другой стороны, обеспечивает высокую точность формирования тороидального профиля детали, идентичную форме профиля рабочей поверхности шлифовального круга.

В качестве шлифовального круга использовался шашечный шлифовальный круг размером $82 \times 72 \times 20$ мм на керамической связке 24А60МЗК7 производства австрийской фирмы «Атлантик».

Обработку осуществляли за один рабочий ход. Фактически удаленный слой материала (припуск) составил 0,2 мм. Шлифование ведется с применением смазочно-охлаждающей жидкости 3% раствор НГЛ 205 в воде.

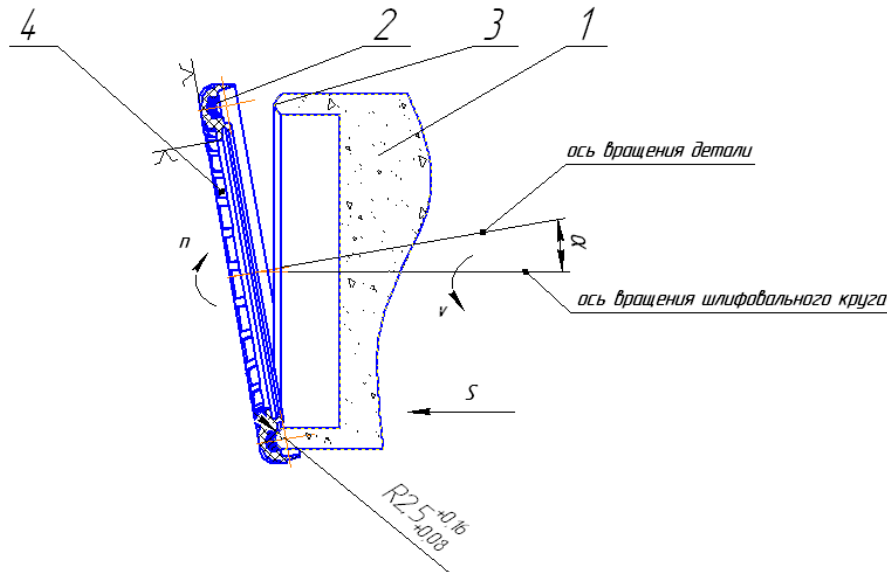


Рис. 1. Схема процесса шлифования дорожек качения упорных подшипников

Для получения математической модели процесса шлифования дорожек качения упорных подшипников использовали метод полного факторного эксперимента 2^4 .

Регулируемыми количественными факторами являлись подача шлифовального круга S , время выхаживания шлифовального круга t , частота вращения заготовки n при обработке колец подшипников и окружная скорость шлифовального круга v .

За параметр оптимизации принята производительность процесса шлифования. Ограничительными факторами являлись радиус дорожки качения R , толщина колец подшипников по дну канавки h и момент сопротивлению вращению M .

Для проверки критерия однородности дисперсии использовался критерий Кохрена с уровнем значимости 0,05, значимость коэффициентов регрессии оценивалась по t_1 – критерию Стьюдента с уровнем значимости 0,05, оценка адекватности модели определялась по критерию Фишера с уровнем значимости 0,05.

В результате обработки экспериментальных исследований были получены математические модели, устанавливающие связи радиуса дорожки качения, толщины колец подшипников по дну канавки и момента сопротивлению вращению с основными влияющими факторами: подачей шлифовального круга S , временем выхаживания шлифовального круга t , частотой вращения заготовки n при обработке колец подшипников и окружной скоростью шлифовального круга v . Математические зависимости имеют следующий вид:

$$R = 2,46 \cdot S^{-0,015} \cdot v^{0,022} \cdot t^{-0,057} \quad (1)$$

$$M = 18,28 \cdot S^{0,568} \cdot v^{-0,234} \cdot t^{0,107} \cdot n^{-0,24} \quad (2)$$

$$h = 3,353 \cdot S^{0,013 \cdot \ln(n) - 0,04} \cdot v^{-0,016 \cdot \ln(S) - 0,012} \cdot t^{0,003 + 0,005 \cdot \ln(S)} \cdot n^{0,015} \quad (3)$$

Как видно из равенства (1), подача шлифовального круга S , окружная скорость вращения шлифовального круга v и время выхаживания шлифовального круга t оказывают на радиус дорожки качения r_d непосредственное влияние. Параметр n – частота вращения заготовки, согласно расчетам, не оказывает влияние на радиус дорожки качения подшипника при шлифовании. Это объясняется тем, что частота вращения заготовки оказывает противоречивое влияние на процесс шлифования. С одной стороны, с увеличением частоты вращения шлифовального круга уменьшается глубина шлифования, что снижает износ шлифовального круга и влияние неравномерности припуска на погрешность профиля дорожки качения. С другой стороны, увеличивается длина пути врезания каждого абразивного зерна в обрабатываемую поверхность, что увеличивает вероятность его разрушения, а следовательно износа шлифовального круга. Такое противоречивое влияние частоты вращения шлифовального круга приводит к незначительному влиянию данного фактора на радиус дорожки качения.

Согласно равенству (2), подача шлифовального круга S , окружная скорость вращения шлифовального круга v , частота вращения заготовки n и время выхаживания шлифовального круга t оказывают на момент сопротивления вращению M непосредственное влияние.

Как видно из равенства (3), время выхаживания шлифовального круга t и подача шлифовального круга S , частота вращения заготовки n и подача шлифовального круга S , окружная скорость вращения шлифовального круга v и подача шлифовального круга S оказывают на толщину подшипника h взаимное влияние.

На рис. 2-4 показано влияние на радиус дорожки качения подшипника исследуемых факторов. На каждом графике представлено влияние одного из факторов на верхнем, нижнем и промежуточных значениях прочих факторов. В подрисуночной подписи указаны размерности величин.

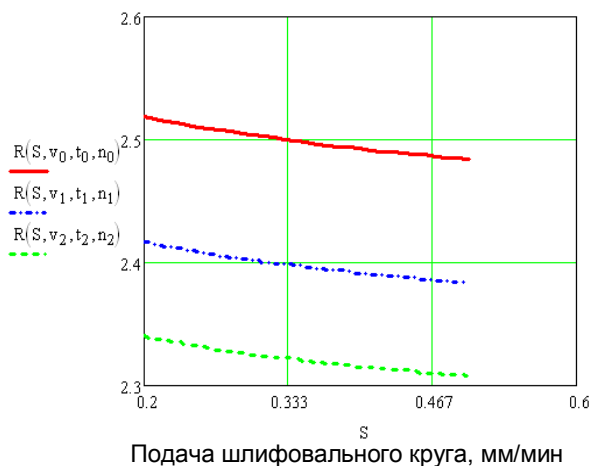


Рис. 2. Зависимость радиуса $R(S, v, t, n)$ (мм) дорожки качения подшипника от подачи шлифовального круга S (мм/мин) при максимальных, средних и минимальных значениях других факторов

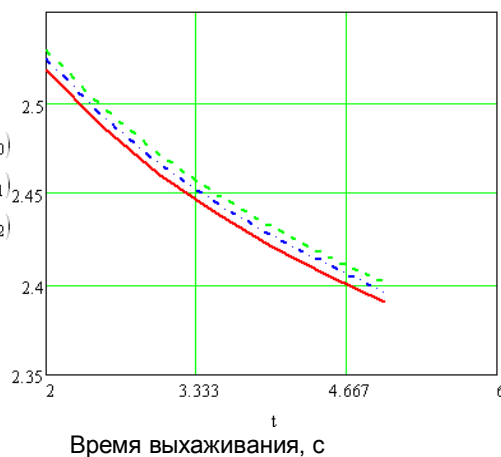


Рис. 3. Зависимость радиуса $R(S, v, t, n)$ (мм) дорожки качения подшипника от времени выхаживания t (с) при максимальных, средних и минимальных значениях других факторов

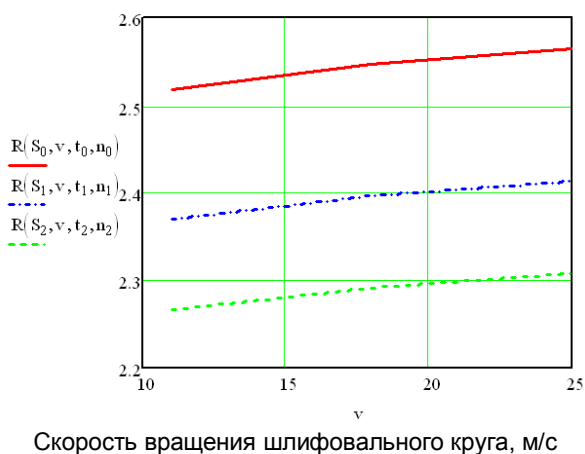


Рис. 4. Зависимость радиуса $R(S, v, t, n)$ (мм) дорожки качения подшипника от скорости вращения шлифовального круга v (м/с) при максимальных, средних и минимальных значениях других факторов

Как видно из рис. 2, с увеличением подачи шлифовального круга радиус дорожки качения уменьшается. Объясняется это тем, что при увеличении подачи нагрузка на зерна шлифовального круга возрастает, шлифовальный круг начинает интенсивнее изнашиваться по краям, что приводит к уменьшению радиуса дорожки качения. Неравномерный износ шлифовального круга вызван неравномерностью распределения припуска вдоль профиля дорожки качения. По краям профиля дорожки качения припуск больше, поэтому и износ шлифовального круга происходит более интенсивно по краю профиля дорожек.

Но наиболее значимым фактором является время выхаживания t . Из рис. 3 видно, что увеличение времени выхаживания шлифовального круга приводит к уменьшению радиуса дорожки качения подшипника. Такое значительное влияние времени выхаживания шлифовального круга на радиус дорожки качения объясняется тем, что при быстром отводе шлифовального круга радиус дорожки качения сохраняет свой размер, полученный в процессе шлифования. При длительном выхаживании возникают дополнительные напряжения в металле в пределах упругих деформаций, которые при отводе шлифовального круга приводят к неравномерным деформациям кольца в виде уменьшения радиуса дорожки качения.

Такое же значительное влияние на радиус дорожки качения оказывает окружная скорость вращения шлифовального круга. Из рис. 4 видно, что увеличение скорости вращения шлифовального круга приводит к увеличению радиуса дорожки качения подшипника. Такое влияние скорости вращения шлифовального круга на радиус дорожки качения объясняется тем, что при увеличении скоро-

сти вращения шлифовального круга абразивные зерна испытывают меньшую нагрузку. Кроме того, становится значительно меньше относительная разность скоростей резания по дну канавки и по ее краям. За счет этого шлифовальный инструмент меньше изнашивается по краям, а следовательно увеличивается радиус дорожки качения.

Проведенные экспериментальные исследования показали:

1. Разработан новый перспективный способ шлифования дорожек качения упорных подшипников.
2. Спроектирована специальная экспериментальная установка для шлифования дорожек качения колец подшипников.
3. Разработана методика полного факторного эксперимента 2^4 , позволяющего провести исследования на двух уровнях исследуемых факторов и тем самым снизить трудоемкость экспериментальных исследований, а также выявить влияние каждого из исследуемых факторов.
4. Статистическая обработка результатов исследований обеспечила возможность выявить искомые математические зависимости. Математические модели адекватны с 95% вероятностью.
5. На основе выполненных исследований выявлены оптимальные режимы шлифования: $S = 0,5 \text{ мм/мин}$, $t = 3,5 \text{ с}$, $n = 2000 \text{ об/мин}$; $v = 25 \text{ м/с}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королев А.В. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки: в 3 ч. Ч. 2. Взаимодействие инструмента и заготовки при абразивной обработке / А.В. Королев, Ю.К. Новоселов; под ред. С.Г. Редько. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1987. 154 с.
2. Решетникова О.П. Перспективный технологический процесс шлифования тороидальных поверхностей / О.П. Решетникова, А.В. Королев // Современные технологии в горном машиностроении: сб. науч. тр. / Моск. гос. горн. ун-т. М., 2012. С. 413-413.

Решетникова Ольга Павловна – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Olga P. Reshetnikova – Postgraduate
Department of Mechanical Engineering Technologies
Gagarin Saratov State Technical University

Королев Альберт Викторович – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Albert V. Korolev – Ph. D., Professor
Head: Department of Mechanical Engineering Technologies
Gagarin Saratov State Technical University

Носков Александр Сергеевич – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksandr S. Noskov – Postgraduate
Department of Mechanical Engineering Technologies
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 19.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 544.643.076.2

А.А. Храмов, О.Л. Козина, Ю.Л. Гунько, М.Г. Михаленко

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА ПО ВЫСОТЕ ЖЕЛЕЗНОГО ЭЛЕКТРОДА РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В НИКЕЛЬ-ЖЕЛЕЗНОМ АККУМУЛЯТОРЕ ПРИ ЗАРЯДЕ И РАЗРЯДЕ

Представлены экспериментальные данные по распределению плотности зарядного и разрядного токов по высоте железных электродов. Исследовались железные электроды следующих конструкций: прессованный, вальцованный, ламельный. Исследования проводились на ячейке с составными положительным и отрицательным электродами.

Вертикальное распределение тока, железный электрод, прессованная конструкция, вальцованная конструкция, ламельная конструкция

A.A. Khramov, O.L. Kozina, Yu.L. Gun'ko, M.G. Mikhalenko

VERTICAL DISTRIBUTION OF CHARGE AND DISCHARGE CURRENTS WITHIN THE IRON CONSTRUCTION ELECTRODES OF NICKEL-IRON BATTERY

The article provides experimental data referring the vertical distribution of charge and discharge current densities along the height of iron electrodes. Research has been made into pressed, rolled and lamellar constructions. The research has been focused on the positive and negative electrodes cell.

Pore, vertical distribution of current, iron electrode, pressed construction, rolled construction, lamellar construction

Исследование распределения тока по высоте электродов различных конструкций проводилось во многих работах. Из результатов этих исследований, сделанных на никель-железном аккумуляторе с ламельными электродами [1], на никель-кадмиевом аккумуляторе с металлокерамическими электродами [2] и на свинцовом аккумуляторе с намазными электродами [3], можно выявить следующую закономерность распределения тока по высоте электрода – наибольший ток сосредотачивается в верхних зонах электрода, а наименьший в нижних зонах. Такая неравномерность распределения тока по высоте электродов является причиной, ограничивающей высотные параметры электродов, а также понижает возможные удельные электрические характеристики аккумуляторов.

В вышеуказанных работах рассматривается распределение тока только в режиме разряда. При заряде, так же как и при разряде, распределение тока по высоте электродов неравномерное. Неравномерность распределения тока при заряде оказывает влияние на распределение тока при последующем разряде, и поэтому исследования по распределению тока необходимо проводить в рамках полного цикла – заряда-разряда.

Исследование распределения тока по высоте железных электродов в никель-железном аккумуляторе проводилось на ячейке с составными электродами. Для измерения токов каждый электрод (положительный – оксидно-никелевый и отрицательный – железный) аккумулятора разбивался по высоте на отдельные секции, к каждому из которых подводился токоотвод (рис. 1). Токоотводы от каждой секции соединялись вместе через общий провод. По падению напряжения V на калиброванных сопротивлениях R модели рассчитывались токи для каждой секции.

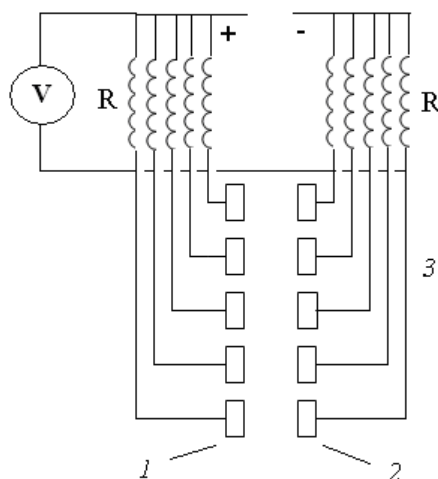


Рис. 1. Электрическая схема для измерения распределения тока по высоте положительного и отрицательного электродов НЖ-аккумулятора: 1 – положительный электрод; 2 – отрицательный электрод; 3 – токоотводы

Исследования проводились на НЖ-аккумуляторах с положительным и отрицательным электродами следующих конструкций:

- 1) металлокерамический оксидно-никелевый электрод и прессованный железный электрод из магнетита;
- 2) металлокерамический оксидно-никелевый электрод и вальцованный железный электрод из железной губки;
- 3) ламельный оксидно-никелевый электрод и ламельный железный электрод.

Высота каждого электрода, состоящего из секций, составляла 120 мм.

На рис. 2 представлено распределение доли плотностей зарядного J_i / J_3 и разрядного J_i / J_p токов по высоте H железных электродов.

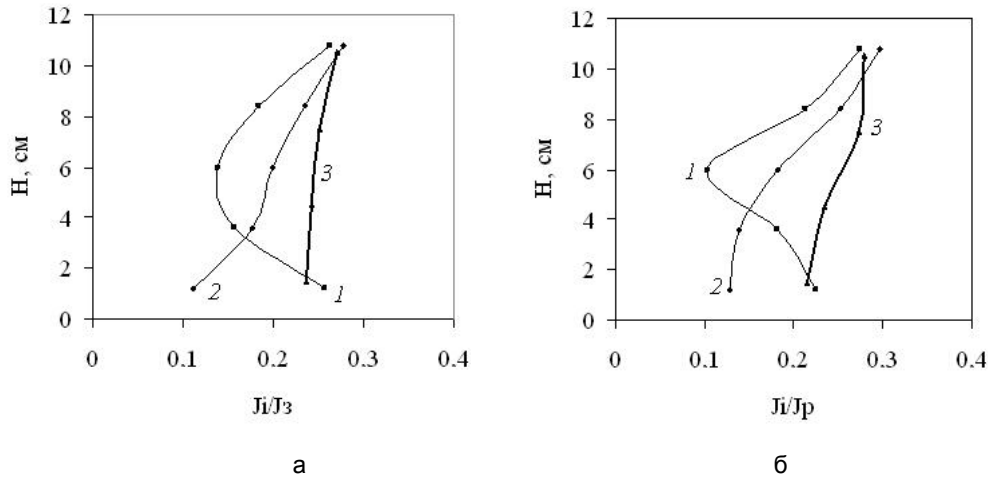


Рис. 2. Распределение доли плотностей тока по высоте железных электродов при заряде (а) и разряде (б)
1 – прессованный из магнетита, 2 – вальцованный из железной губки, 3 – ламельный.

J_i – плотность тока на i -й секции электрода; плотность тока заряда – 5 mA/cm^2 ,
время от начала заряда – 1 ч; плотность тока разряда – $16,6 \text{ A/m}^2$, время от начала разряда – 20 мин

Как видно из диаграмм, наиболее равномерное распределение зарядного и разрядного токов наблюдается у ламельного электрода. Разброс доли тока по высоте электрода для ламельной конструкции самый минимальный среди остальных конструкций и составляет 3% при заряде и 6% при разряде. Для вальцованной конструкции этот разброс составляет 16% при заряде и 17% при разряде, а у прессованной конструкции 13% при заряде и 17% при разряде. Наиболее равномерное распределение тока по высоте электрода ламельной конструкции, по-видимому, связано с более высоким внутренним сопротивлением активной массы ламельных электродов по сравнению с электродами других конструкций.

Особенностью электрода прессованной конструкции является то, что в начале заряда и разряда электрохимические процессы сосредотачиваются главным образом на краях электрода (в нижних и в верхних областях), причём с каждым циклом заряда – разряда, это перераспределение усиливается и становится более заметным. Данное распределение тока, по-видимому, вызвано высоким сопротивлением токоотвода. Более низкое, чем у прессованного электрода, электрическое сопротивление токоотводов у вальцованного и ламельного электродов не привело к появлению краевого эффекта, как в случае с прессованным электродом.

Среди исследованных железных электродов наиболее равномерное распределение зарядного и разрядного тока по высоте свойственно ламельной конструкции, а наименее равномерное – вальцованной конструкции из железной губки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новаковский А.М. Влияние высоты электродов на напряжение никель-железного аккумулятора / А.М. Новаковский, В.В. Болотовская, Н.Ю. Шибанова // Исследования в области электрических аккумуляторов. 1988. С. 54-59.
2. Разработка моделей и исследование стационарного распределения электрохимического процесса по высоте электродов никель-кадмиевого аккумулятора / В.П. Мороз, В.З. Барсуков, Н.Н. Милютин, Л.Н. Сагоян // Сборник работ по химическим источникам тока. 1978. Вып. 12. С. 32-35.
3. Ягнятинский В.М. Распределение падения напряжения и плотности тока по поверхности электрода свинцового аккумулятора / В.М. Ягнятинский, В.К. Лужин, В.И. Львова // Исследования в области электрических аккумуляторов. 1988. С. 15-23.

Храмов Андрей Анатольевич – аспирант кафедры «Технология электрохимических производств» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева

Andrey A. Khramov – Postgraduate Department of Electrochemical Technologies, Nizhniy Novgorod State Technical University

Козина Ольга Леонидовна –
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технология электрохимических производств»
Нижегородского государственного технического
университета им. Р.Е. Алексеева

Гунько Юрий Леонидович –
доктор технических наук, профессор кафедры
«Технология электрохимических производств»
Нижегородского государственного технического
университета им. Р.Е. Алексеева

Михаленко Михаил Григорьевич –
доктор технических наук, профессор, декан
инженерного физико-химического факультета,
заведующий кафедрой «Технология
электрохимических производств»
Нижегородского государственного технического
университета им. Р.Е. Алексеева

Olga L. Kozina –
Ph. D., Associate Professor
Department of Electrochemical Technologies,
Nizhniy Novgorod State Technical University

Yury L. Gunko –
Dr. Sc., Professor
Department of Electrochemical Technologies,
Nizhniy Novgorod State Technical University

Mikhalenko Mikhail G. –
Dr. Sc., Professor
Dean: Engineering Physical and Chemical Engineer-
ing Faculty,
Head: Department: of Electrochemical Technologies
Nizhniy Novgorod State Technical University

Статья поступила в редакцию 24.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.313

Т.А. Волкова, Ф.Р. Исмагилов

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕОДНОРОДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Рассматривается возможность перемешивания диэлектрических жидкостей под действием неоднородного электрического поля, реализуемая в электростатическом преобразователе энергии с жидкостным ротором. Исследуется система из двух жидкостей, наложенных друг на друга. В результате определены граничные условия на границе раздела двух жидкостей и найдены параметры, которые оказывают влияние на скорость перемешивания.

Перемешивание, граница раздела, электрическая проводимость, электростатический преобразователь

T.A. Volkova, F.R. Ismagilov

MIXING DIELECTRIC LIQUIDS UNDER THE INFLUENCE OF NON-UNIFORM ELECTRIC FIELD

The article considers the possibility for mixing dielectric liquids under the influence of non-uniform electric field realized in the electrostatic energy transducer with liquid rotor. The system consisting including two liquids imposed against each other is investigated. As a result the boundary conditions on the interface of the two liquids are determined, and the parameters effecting the mixing velocity are found.

Mixing, interface, electric conductivity, electrostatic energy transducer

Возможность перемешивания различных жидкостей под действием приложенного электрического поля привлекала исследователей уже много лет [1]. Существует множество работ отечественных и зарубежных ученых, изучающих данный эффект. Однако из-за сложности математического аппарата, описывающего данный процесс, который включает уравнения гидродинамики и электродинамики, очень сложно получить количественное его решение. В силу того, что уравнения гидродинамики решаются только для частных случаев, обусловленных различием начальных и граничных условий, получить общее решение аналитически практически невозможно. Поэтому мы ограничимся определением математического описания только на границе раздела двух жидкостей, наложенных друг на друга и находящихся под воздействием электрического поля.

При помещении системы из двух несмешивающихся жидкостей в однородное электрическое поле возникает несоответствие между диэлектрическими свойствами жидкостей. Это несоответствие приводит к появлению нормальных и тангенциальных граничных напряжений, которые стремятся привести жидкости в движение и исказить границу раздела между ними [2]. Предположим, что жидкости имеют конечное значение электропроводности и что время ослабления заряда от дна до поверхности сосуда из-за проводимости будет намного меньше, чем время любого другого происходящего в жидкости процесса [3]. Первое предположение учитывает накопление свободных зарядов на границе раздела двух жидкостей и, следовательно, и возможность сдвига электрических сил на этой границе. Второе предположение приводит к существенному упрощению математической формулировки, поскольку уравнения электрического поля будут отщеплены от уравнения момента и уменьшены до законов квазистационарного состояния.

Интерес представляет поведение в установившемся состоянии двумерного жидкого двойного слоя под воздействием наложенного неоднородного поперечного электрического поля. Оба слоя жидкостей находятся в сосуде, ограниченном практически со всех сторон стенками и открытым только с одной стороны (с верхней), где слой верхней жидкости соприкасается с воздухом. Цель состоит в том, чтобы определить параметры потока жидкости и граничные изменения под воздействием электрического поля, используя решение простой закрытой формы, учитывая наличие открытой стенки. Для этого решается электрогидродинамическое уравнение для течения потока жидкостей, принимая, что граница раздела двух жидкостей является плоской.

Рассмотрим два наложенных слоя жидкостей, находящихся в сосуде (рис. 1). Толщины верхнего и нижнего слоёв a и b , соответственно, а высота сосуда $w=a+b$.

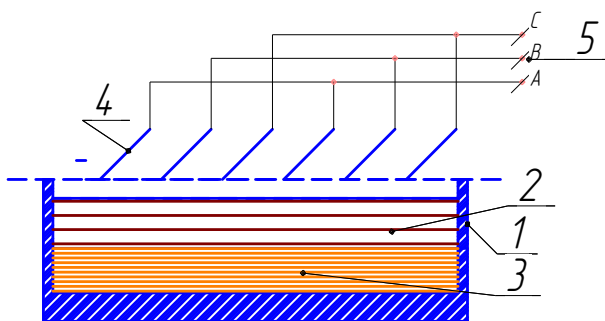


Рис. 1. Перемешиватель: 1 – сосуд; 2 – верхний слой жидкости (слой a); 3 – нижний слой жидкости (слой b); 4 – электроды; 5 – источник питания переменного тока

Допустим, что сосуд имеет вид канала, бесконечно расширяющегося в горизонтальном направлении. Физические свойства жидкости: удельный вес – ρ_a, ρ_b , вязкость – μ_a, μ_b , электропроводность – σ_a, σ_b и диэлектрические постоянные – ϵ_a, ϵ_b . Примем, что гравитационное ускорение равно нулю. Поверхностное натяжение на границе раздела двух жидкостей – γ .

Поток жидкости возникает в результате баланса между силой электрического сдвига τ_{xy}^e и силой вязкостного сдвига на интерфейсе τ_{xy}^h . Сила электрического сдвига:

$$\tau_{xy}^e = q_s E_s, \quad (1)$$

где q_s – величина свободного поверхностного электрического заряда и E_s – значение силы электрического поля. Т.к. $q_s \approx \epsilon E_s$ и $E_s \approx \Phi_0/w$, сила вязкостного сдвига определяется как

$$\tau_{xy}^h \approx \epsilon \Phi_0^2 / w^2. \quad (2)$$

Балансирование τ_{xy}^e с τ_{xy}^h приводит к изменению скорости, равной

$$u_s = \epsilon \Phi_0^2 / \mu w. \quad (3)$$

Используя свойства верхней жидкости, $u_s = \epsilon_a \Phi_0^2 / \mu_a w$, и безразмерность отдельных параметров, получаем потоковое число Рейнольдса:

$$Re_f = \rho_a u_s w / \mu_a, \quad (4)$$

электрическое капиллярное число

$$Ca_{el} = \mu_a u_s / \gamma, \quad (5)$$

и электрическое число Рейнольдса

$$Re_{el} = u_s \epsilon_a / w \sigma_a. \quad (6)$$

Введем следующие обозначения для свойств материала: $R = \sigma_a / \sigma_b$, $S = \epsilon_a / \epsilon_b$, $\tilde{\rho} = \rho_a / \rho_b$ и $\tilde{\mu} = \mu_a / \mu_b$. Здесь Re_f представляет отношение силы инерции к силе вязкости от объема жидкости к границе раздела жидкостей; Re_{el} представляет отношение времени ослабления заряда от объема жидкости к границе раздела жидкостей благодаря проводимости, $t_{cond} = \epsilon / \sigma$ – отношение ко времени конвекции заряда благодаря потоку, $t_{conv} = w / u_s$, и Ca_{el} представляет отношение силы вязкости к поверхностному натяжению.

Предположим, что время ослабления заряда из-за проводимости намного меньше, чем время конвекции зарядов. Значение заряда равно нулю. Это приводит к $Re_{el} \ll 1$. Предполагая далее, что инерционные силы малы, $Re_f \ll 1$ и граница раздела жидкостей не искажается, $Ca_{el} \ll 1$, представляется возможным решить уравнения электрогидродинамики в установившемся режиме аналитически. Для этого необходимо найти управляющие уравнения.

Управляющие уравнения для установившегося режима для несжимаемых и текущих потоков имеют условие несжимаемости:

$$\nabla u = 0 \quad (7)$$

и уравнение сохранения момента

$$-\nabla P + \mu \nabla^2 u + F^e = 0, \quad (8)$$

где u – скорость жидкости, P – давление, и F^e – плотность электрической силы, которая добавляется в уравнение момента как часть силы. Уравнение 8 подразумевает, что электрические силы действуют на свободные заряды и заряженные диполи передаются непосредственно в жидкость.

Электрическая сила состоит из трёх компонент [4], которые выражаются как

$$F^l = q_{fv} E - 0,5 E \cdot E \nabla \varepsilon + \nabla \left[\rho \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho} \right)_T E \cdot E \right] \quad (9)$$

где первый член – электрофоретическая (кулоновская) сила, второй – диэлектрофоретическая сила и третий член – электрострикционная сила. Электрофоретическая сила является результатом действия напряженности электрического поля на свободные заряды, диэлектрофоретическая сила – результат действия электрического поля на поляризованные заряды и электрострикционная сила – результат изменения диэлектрической постоянной и плотности жидкости.

Первые два члена уравнения (9) исчезнут в объеме жидкости с постоянными электрическими свойствами, свободном от зарядов. Для несжимаемых потоков можно сгруппировать электрострикционный член с давлением. Тогда уравнение (9) может быть записано как

$$-\nabla P + \mu \nabla^2 u = 0, \quad (10)$$

где

$$P = p - \rho \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho} \right)_T E \cdot E \quad (11)$$

состоит из измененного давления и плотности электрической силы, являющейся

$$F^l = q_{fv} E - 0,5 E \cdot E \nabla \varepsilon. \quad (12)$$

Для течения потоков в двух размерностях уравнения (7) и (10) могут быть соединены для получения бигармонического уравнения

$$\nabla^4 \psi = 0, \quad (13)$$

где ψ – функция потока.

Поле скоростей

$$(u, v) = \left(-\frac{\partial \psi}{\partial y}, \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) \quad (14)$$

и напряженность поля

$$E = -\nabla \Phi. \quad (15)$$

Для решения введем следующие граничные условия и условия скачка:

1) электрический потенциал, определенный для нижней стенки

$$\phi^b(x, -b) = \Phi_0 \cos(kx); \quad (16)$$

2) электрический потенциал, определенный для верхней стенки

$$\phi^a(x, a) = 0; \quad (17)$$

3) электрический потенциал на поверхности должен быть непрерывным

$$\phi^b(x, 0) = \phi^a(x, 0); \quad (18)$$

4) нормальный компонент плотности электрического тока свободных зарядов по поверхности должен быть непрерывным,

$$\sigma_b \frac{\partial \phi^b}{\partial y}(x, 0) = \sigma_a \frac{\partial \phi^a}{\partial y}(x, 0). \quad (19)$$

Условие скачка (3) соответствует

$$[[E]] \cdot t = 0 \tag{20}$$

и как результат от интегрирования

$$\nabla \times E = 0, \tag{21}$$

где

$$[[Q]] = Q_a - Q_b \tag{22}$$

устанавливается для броска в различных Q по границе раздела жидкостей, t – единичный вектор, тангенциальный к границе раздела двух жидкостей, и n – единичный вектор, нормальный к границе раздела жидкостей, который направлен от нижней жидкости к верхней. Подстановка (15) в (20) приводит к $\frac{\partial \phi^b}{\partial x} = \frac{\partial \phi^a}{\partial x}$ или $\phi^b = \phi^a$ на границе раздела двух жидкостей. Также условие броска (4) соответствует сохранению свободного заряда на границе раздела жидкостей,

$$\frac{\partial q_{fs}}{\partial t} + \nabla_s \cdot k + n \cdot [[J_f]] = u \cdot n [[q_{fv}]] \tag{23}$$

и результаты применения закона сохранения заряда на границе раздела жидкостей, где $J_f = \sigma E$ – плотность (свободного) электрического тока, k_f – плотность поверхностного тока и ∇_s – поверхностный градиент.

В результате получаем электрический потенциал в верхней жидкости

$$\frac{\phi^a(x, y)}{\phi_0} = F(\alpha, \beta, R) [R \sinh(\alpha) \cosh(ky) - \sinh(ky) \cosh(\alpha)] \cos(kx) \tag{24}$$

и в нижней жидкости

$$\frac{\phi^b(x, y)}{\phi_0} = RF(\alpha, \beta, R) \sinh(\alpha - ky) \cos(kx), \tag{25}$$

где

$$F(\alpha, \beta, R) = [\sinh(\beta) \cosh(\alpha) + R \sinh(\alpha) \cosh(\beta)]^{-1}, \tag{26}$$

$$\alpha = ka, \beta = kb.$$

Электрическое поле находится из уравнений (24) и (25), используя (15), которое приводит

$$\frac{E^a(x, y)}{\phi_0} = \tilde{w} \left\{ \begin{array}{l} \sinh(kx) [R \sinh(\alpha) \cosh(ky) - \sinh(ky) \cosh(\alpha)] \hat{i} - \\ \cosh(kx) [R \sinh(\alpha) \sinh(ky) - \cosh(ky) \cosh(\alpha)] \hat{j} \end{array} \right\} F(\alpha, \beta, R) \tag{27}$$

и

$$\frac{E^b(x, y)}{\phi_0} = \tilde{w} \{ \sinh(kx) \sinh(\alpha - ky) \hat{i} + \cosh(kx) \cosh(\alpha - ky) \hat{j} \} RF(\alpha, \beta, R) \tag{28}$$

где $\tilde{w} = wk$ – высота сосуда.

Рис. 2 показывает эквипотенциальный контур электрического потенциала для двух систем A и B , состоящих из двух жидкостей, имеющих различные электрические проводимости.

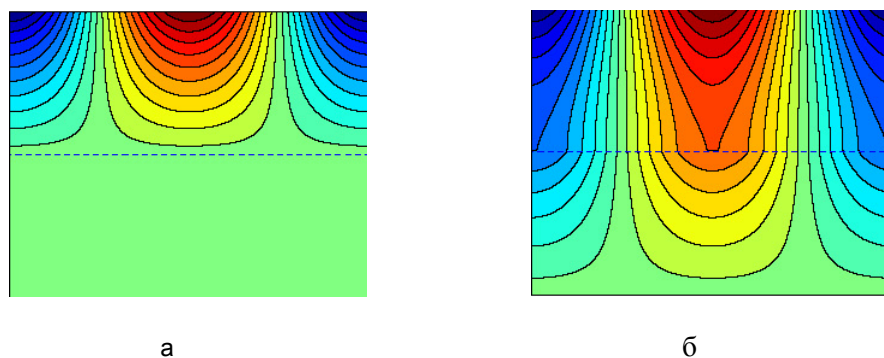


Рис. 2. Контур электрического потенциала для системы жидкостей: а – система A : касторовое масло, наложенное на трансформаторное масло; б – система B : трансформаторное масло, наложенное на касторовое масло

Для системы B вертикальные расстояния между контурами в верхней и нижней жидкостях являются приблизительно одинаковыми. Это потому, что нормальный компонент свободного электрического тока $J_{fy} = \sigma \frac{\partial \phi}{\partial y}$ должен быть непрерывным на границе раздела жидкостей, пока $\sigma_a \gg \sigma_b$,

затем J_{fy}^a уменьшается и, в конце концов, становится настолько малым, что $\frac{\partial \phi^a}{\partial y} \approx 0$. Для системы A

электрического поля в нижней жидкости нет уровня контуров, что предполагает, неоднородность электрического потенциала. Более того, граница раздела жидкостей – это линия постоянного потенциала. $E_x \frac{\partial \phi}{\partial x}$ и $\phi^a(x,0) = const$ подразумевают, что $E_x^b = 0$ и, когда E_x станет непрерывным на границе раздела жидкостей, то и $E_x^a = 0$. К тому же контуры электрического потенциала около границы раздела жидкостей в верхней жидкости являются параллельными границе раздела жидкостей.

Поэтому более уместно рассмотреть эти силы как возникающие благодаря тензору напряжений. Тензор напряжений Максвелла упрощается

$$\tau^e = \varepsilon E E - 0,5 E \cdot E \varepsilon I . \quad (29)$$

Электрические напряжения в x и y направлениях можно легко определить, используя выражение

$$\tau_{ij}^e = \varepsilon E_i E_j - 0,5 E_k E_k \varepsilon \delta_{ij} , \quad (30)$$

где i и j представляют x и y направления и δ_{ij} – дельта Кронекера.

Тангенциальная скорость жидкости будет максимальной там, где максимален сдвиг напряжений и его нормальный компонент.

Функция потока в верхней жидкости:

$$\frac{\psi^a}{u_{\max} w} = \frac{\tilde{w}}{\sinh^2(2\alpha) - 4\alpha^2} \{ \sinh^2(2\alpha)(ky) \cosh(2ky) - \frac{1}{2} [4\alpha^2 - (\sinh(4\alpha) - 4\alpha)(ky)] \sinh(2ky) \} \sinh(2kx) \quad (31)$$

и для нижней жидкости:

$$\frac{\psi^b}{u_{\max} w} = \frac{\tilde{w}}{\sinh^2(2\beta) - 4\beta^2} \{ \sinh^2(2\beta)(ky) \cosh(2ky) - \frac{1}{2} [4\beta^2 + (\sinh(4\beta) - 4\beta)(ky)] \sinh(2ky) \} \sinh(2kx) \quad (32)$$

где

$$u_{\max} = \frac{1}{8} \tilde{w} u_s \tilde{\mu} (R - S) G(\alpha, \beta, R) H(\alpha, \beta, \tilde{\mu}) \quad (33)$$

$$u_s = \frac{\varepsilon_b \Phi_0^2}{\mu_b w} \quad (34)$$

$$H(\alpha, \beta, \tilde{\mu}) = \frac{(\sinh^2(2\alpha) - 4\alpha^2)(\sinh^2(2\beta) - 4\beta^2)}{(\sinh(4\alpha) - 4\alpha)(\sinh^2(2\beta) - 4\beta^2) + \tilde{\mu}(\sinh(4\beta) - 4\beta)(\sinh^2(2\alpha) - 4\alpha^2)} \quad (35)$$

Важно отметить, что $H(\alpha, \beta, \tilde{\mu}) \geq 0$.

Рис. 3 показывает несколько однопространственных контуров потока для двух систем жидкостей. Для системы A : $R=0,252$, $S=0,49$ и $\tilde{\mu} = 0,818$ и для системы B : $R=3,968$, $S=2,04$ и $\tilde{\mu} = 2,5210$.

Системы A и B соответствуют касторовому маслу, наложенному на трансформаторное масло, и измененному их положению. Для обоих случаев поле потока состоит из восьми противорвращающихся вихрей различного размера и является периодическим в горизонтальном направлении с периодом, который в два раза больше, чем период приложенного электрического поля. Т.к. направление движения положительно коррелировано с электрическим сдвигом напряжения, имеет место фазовый сдвиг между потоками жидкости в двух системах.

Сила потока характеризуется u_{\max} , представленном в уравнении (35). Для данной системы жидкостей u_{\max} зависит от относительных толщин слоев жидкостей через $\alpha = ka$ и $\beta = kb$ в $G(\alpha, \beta, R) \times H(\alpha, \beta, \tilde{\mu})$. Здесь можно сделать два наблюдения [5]:

- 1) знак G и H всегда положительный и, следовательно, направление потока контролируется относительными значениями R и S ;
- 2) u_{\max} пропорционально Φ_0^2 , а следовательно, направление потока не зависит от полярности электрического поля.

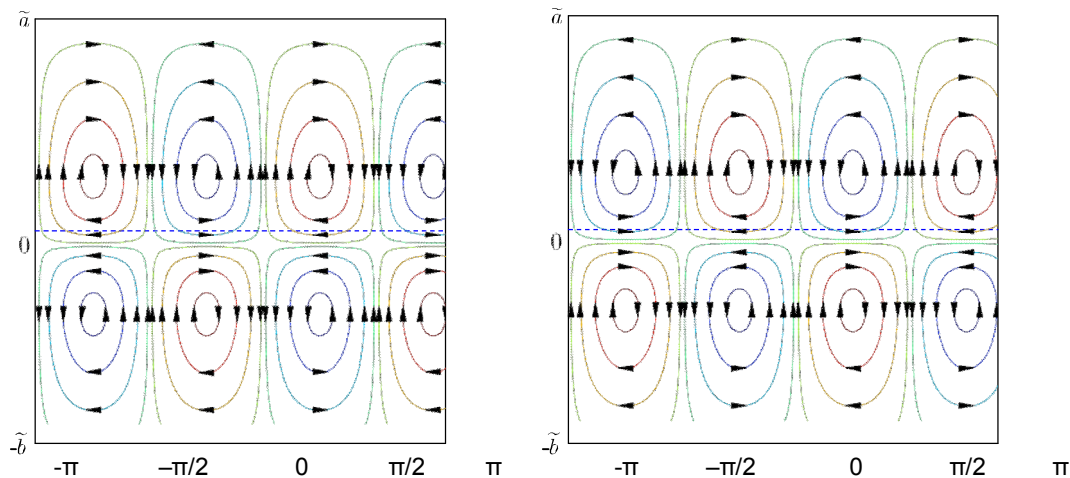


Рис. 3. Контурные потоки для систем А и В

Таким образом, при помещении системы из двух наложенных друг на друга жидкостей в электрическое поле происходит их перемешивание, причем на границе раздела двух жидкостей действуют нормальные и тангенциальные силы, которые стремятся вывести границу раздела из состояния устойчивого равновесия, в результате чего начинают действовать сдвиговые силы, которые и приводят жидкости в движение [6]. К тому же взаимное расположение жидкостей оказывает значительное влияние на скорость и направление движения слоев жидкостей. Ключевыми параметрами, определяющими направление движения жидкостей и деформации границы раздела двух жидкостей, являются отношения относительных значений электрических проводимостей и диэлектрических про-

$$R = \frac{\sigma_i}{\sigma_0} \quad \text{и} \quad S = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_0}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульман З.П. Вращение непроводящих тел в электрореологических суспензиях / З.П. Шульман, В.М. Носов; под. ред. О.Г. Мартыненко. Мн.: Наука и техника, 1985. 112 с.
2. Melcher J.R. Electrohydrodynamics: a review of the role of interfacial shear stresses / J.R. Melcher, G.I. Taylor // Ann. Rev. Fluid Mech. 1969. №. 1. P. 111-147.
3. Saville D.A. Electrohydrodynamics: the Taylor-Melcher leaky-dielectric model / D.A. Saville // Ann. Rev. Fluid Mech. 1997. №. 29. P. 77-64.
4. Landau L.D. Electrohydrodynamics of Continuous Media / L.D. Landau, E.M. Lifshitz // Addison-Wesley, Reading, MA. 1960.
5. Yeoh H.K. Equilibrium shapes and stability of a liquid film subjected to a nonuniform electric field / H.K. Yeoh, O.A. Basaran // Phys. Fluids. 2007. №. 19. P. 111-141.
6. Khorshidi B. Electrohydrodynamic instability at the interface between two leaky dielectric fluid layers / B. Khorshidi, M. Jalaal, E. Esmaeilzadeh // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 380 (2011), P. 207-212.

Волкова Татьяна Александровна – аспирант кафедры «Электромеханика» Уфимского государственного авиационного технического университета

Исмагилов Флюр Рашитович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика», проректор по административно-правовым вопросам Уфимского государственного авиационного технического университета

Tatyana A. Volkova – Postgraduate Department of Electromechanics Ufa State Aviation Technical University

Flur R. Ismagilov – Dr. Sc., Professor, Head: Department of Electromechanics, Vice-Rector for Administration and Legal Issues Ufa State Aviation Technical University

И.В. Долотовский, Е.А. Ларин, А.В. Ленкова, Н.В. Долотовская

ЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГО- И ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ДОБЫЧИ, ПОДГОТОВКИ, ПЕРЕРАБОТКИ ГАЗА И ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА

Рассмотрены основы создания, анализа эффективности и оптимизации систем энерго-, водообеспечения, использующих собственные ресурсы предприятий добычи, подготовки переработки газа и газового конденсата. Приведены схема системы энерго-, водообеспечения, методика комплексной оценки ее эффективности и результаты оптимизации для действующего предприятия.

Системы электро-, тепло-, водообеспечения, ресурсосбережение, эффективность, оптимизация, добыча, подготовка, переработка, природный газ, газовый конденсат

I.V. Dolotovskij, E.A. Larin, A.V. Lenkova, N.V. Dolotovskaya

EFFICIENT SYSTEM ENERGY AND WATER SUPPLY ENTERPRISES PRODUCTION, TREATMENT AND PROCESSING OF GAS AND GAS CONDENSATE

Basics of creation, performance analysis and optimization of system energy and water supply enterprises production, treatment and processing of gas and gas condensate, using its own resources. Provides circuit of system energy and water supply, method of comprehensive evaluation of its effectiveness and the results of the optimization for the enterprise.

The electrical supply system, thermal energy and water, resource conservation, the effectiveness, optimization, extraction, preparation, processing of natural gas and gas condensate

Системы обеспечения энергоресурсами (ЭР) и водой и технологические установки предприятий добычи, подготовки и переработки газа и газового конденсата (ПДППГКГ) взаимосвязаны производственным циклом по материальным и энергетическим потокам и являются крупными потребителями тепловой и электрической энергии, получаемой от внутренних или внешних источников. Внутрипроизводственные системы энергообеспечения представляют собой единый энергетический комплекс (ЭК), эффективность которого во многом определяет рентабельность всего предприятия. Первичными ЭР для ПДППГКГ являются топливо, как компонент углеводородного сырья, и электроэнергия. Часть потребляемой тепловой энергии генерируется в технологических процессах в виде водяного пара и горячей воды; недостающее количество потребляется от внешнего источника – котельной или ТЭЦ.

Энерготехнологическую схему и тип установленного оборудования определяют назначение ПДППГКГ и состав сырья. В общем виде их блочно-иерархическая структура может быть представлена древовидной формой с внутренними взаимосвязями на I и II уровнях – технологическая система (ТС) – ЭК, производства – системы ЭК (рис.1). Очевидно, что взаимосвязанные ТС и ЭК ПДППГКГ представляют собой сложно структурированный объект, исследование энергетической эффективности и совершенствование которого необходимо проводить с позиций системного анализа и в соответствии с современной концепцией развития энергетики этих предприятий, базирующейся на принципах максимального использования вторичных энергетических ресурсов, в том числе горючих отходов, сжигаемых в факельных системах, минимизации водопотребления от внешнего источника и водоотведения основного и вспомогательного процессов путем организации замкнутых технологических циклов в каждый период функционирования ПДППГКГ, включая строительство, ввод в эксплуатацию, эксплуатацию, вывод из эксплуатации.

Эти принципы реализованы в разработанной ресурсоэффективной системе энерго - водоснабжения (СЭВС) ПДППГКГ (рис. 2) на основе комплексного решения задачи повышения энергетической эффективности и экологической безопасности с учетом взаимосвязи технологических произ-

водств и систем генерации и потребления энергоресурсов, водоснабжения и утилизации горючих отходов и стоков [1].

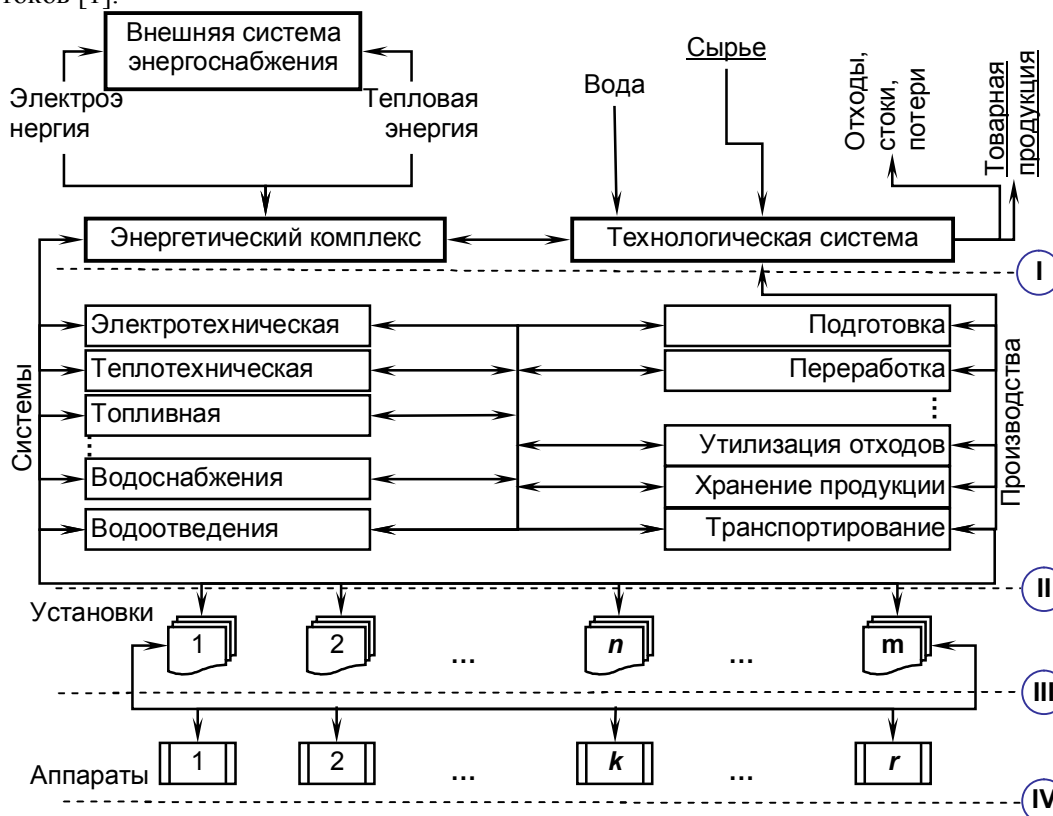


Рис. 1. Блочно-иерархическая модель взаимосвязей элементов ЭК и ТС ПДППГКГ

Разработанная СЭВС имеет ряд энерготехнологических и аппаратурных преимуществ, основными из которых являются:

- обеспечение потребителей электрической и тепловой энергией от собственных источников, эксплуатируемых в оптимальных режимах на всех этапах жизненного цикла ПДППГКГ;
- утилизация горючих отходов и сточных вод в нейтрализаторе с выработкой технологической воды и пара;
- полезное использование теплоты дымовых газов нейтрализатора для генерации водяного пара в парогенераторе и нагрева технологического потока в технологическом блоке 1, и теплоты высокотемпературного потока газов технологического блока 2 в котле-утилизаторе;
- использование в качестве топлива в горелках нейтрализатора газовых и жидкофазных горючих отходов, подаваемых на газовый эжектор;
- повышение экологической безопасности предприятия, поскольку исключается загрязнение литосферы при подземном захоронении промстоков;
- снижение затрат на водоснабжение от внешнего источника при использовании конденсата водяных паров в качестве рабочего тела паросилового блока, теплоносителя системы теплоснабжения и исходной воды системы хозяйственного водоснабжения ПДППГКГ;
- увеличение срока непрерывной работы основного оборудования, комплектующего СЭВС, не нуждающегося в замене или выводе в консервацию и используемого на всех этапах жизненного цикла предприятия, от начала строительства объекта до его вывода из эксплуатации.

В разработанной СЭВС нейтрализатор промстоков и утилизации горючих отходов может являться одним из элементов технологического блока 1, например блока регенерации абсорбента установок осушки газа (на данный элемент получен патент [2]). Кроме того, технологический блок 2 СЭВС, содержащий газоперекачивающий агрегат с воздушным компрессором, газовой турбиной и камерой сгорания характерен лишь для предприятий, осуществляющих подачу газа в магистральный газопровод. Для объектов с отличной технологической структурой этот элемент или отсутствует, или содержит другое оборудование, например, технологические трубчатые печи.

Общая эффективность СЭВС определена на основании энерготехнологических и технико-экономических показателей [3] с использованием разработанной информационно-аналитической системы нормирования и оптимизации выработки и потребления энергоносителей [4].

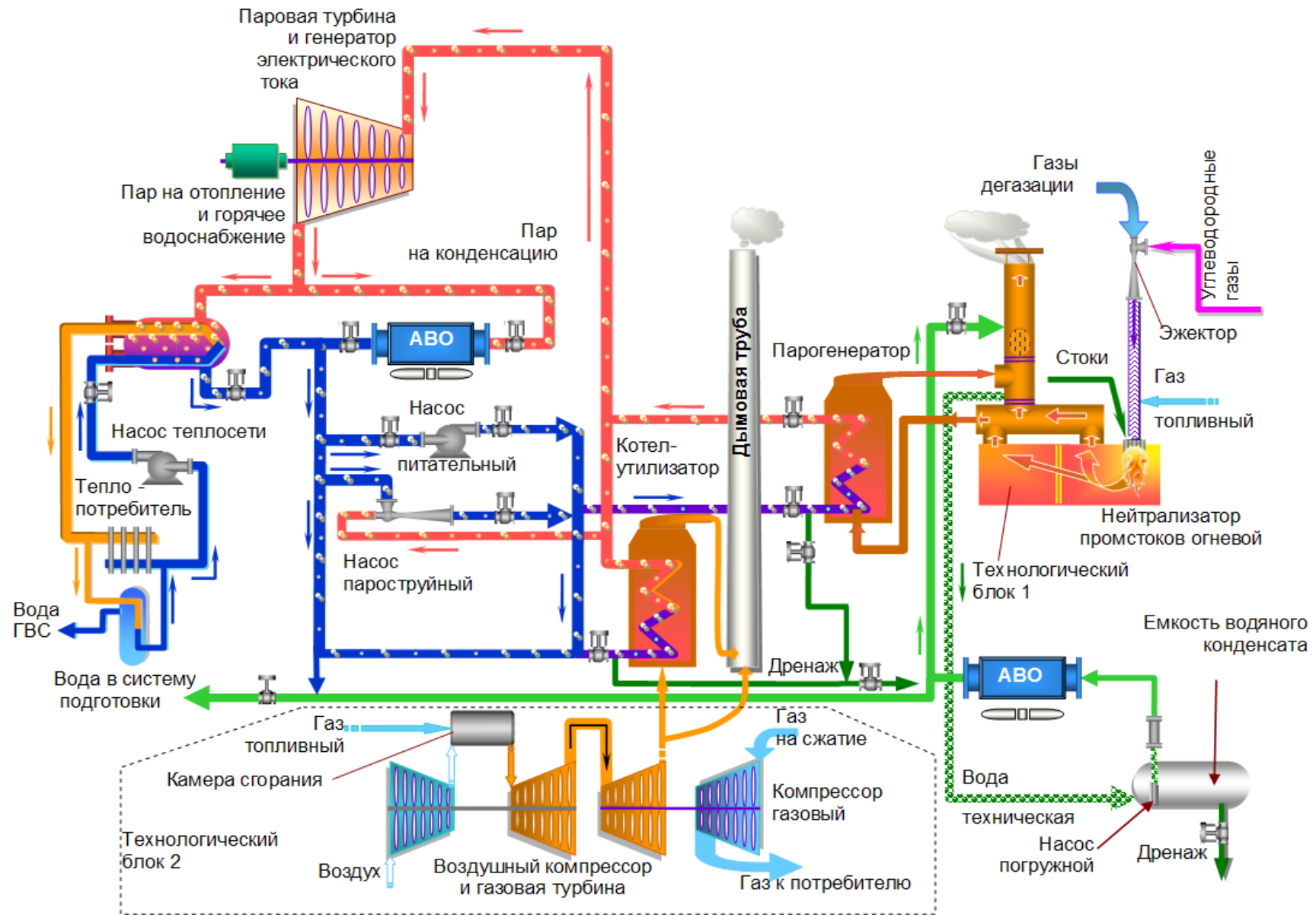


Рис. 2. Схема системы энерго - водоснабжения ПДППГКТ

Технико-экономическая эффективность анализировалась по значениям интегрального эффекта или чистого дисконтированного дохода ($ЧДД$) и дисконтированного срока окупаемости инвестиций (T_{OK}).

Энерготехнологическая эффективность определялась по четырем показателям – коэффициентам рационализации генерирования и потребления электрической и тепловой энергии K_{PE} , использования топлива K_{PT} , водопотребления от внешнего источника K_{PB} , и водоотведения K_{PC} :

$$K_{PE} = 1 - (E_A/E_T); K_{PT} = 1 - (B_A/B_T); K_{PB} = 1 - (W_A/W_T); K_{PC} = 1 - (S_A/S_T),$$

где – $E_T, B_T, W_T, S_T, E_A, B_A, W_A, S_A$ приведенные удельные энергоемкости, удельное топливопотребление из сети товарного газа, водопотребление от внешнего источника и удельное водоотведение вариантов СЭВС, отличающихся составом оборудования.

Внедрение СЭВС в структуру ЭК ПДППГКГ позволяет решить задачу повышения энергетической эффективности предприятия с организацией практически замкнутых циклов водопотребления, водоотведения и минимизацией потребления энергоресурсов от внешних источников. Решаются также задачи ресурсосбережения для отдельных процессов и установок. Например, для технологических процессов предприятий подготовки газа, переработки нефти и газового конденсата, вариант энергообеспечения с использованием ресурсосберегающей технологии СЭВС позволяет снизить удельное потребление топливного газа из сети товарного газа на 36–54 % (табл. 1) и минимизировать потребление воды на технологию от внешнего источника по сравнению с вариантом традиционной схемы энергообеспечения.

Таблица 1

Удельные показатели вариантов энерго- водоснабжения процессов*

Топливопотребление из сети товарного газа, кг у. т./т	Первичная переработка газового конденсата (нефти)	Сероочистка газа	Гидроочистка	Риформинг
		$\frac{79,6-80,5}{58,5-33,4}$	—	$\frac{25,3-27,6}{10,4-12,3}$
Водопотребление от внешнего источника, м ³ /т	$\frac{0,036-0,070}{0,0033-0,0063}$	$\frac{0,167-0,171}{0,015-0,0016}$	$\frac{0,034-0,048}{0,004-0,007}$	$\frac{0,024-0,028}{0,003-0,004}$
Водоотведение, м ³ /т	$\frac{0,046-0,064}{0,0014-0,0019}$	$\frac{0,034-0,056}{0,002-0,003}$	$\frac{0,034-0,036}{0,0016-0,002}$	$\frac{0,021-0,026}{0,002-0,003}$

* в числителе приведены показатели традиционной схемы, в знаменателе – эффективной СЭВС

В установках сепарации, осушки природного газа и его подготовки к транспорту при внедрении нейтрализатора промышленных стоков с утилизацией горючих отходов удельное потребление топливного газа из сети товарного газа снижается с 0,12–0,13 до 0,072–0,076 кг у. т. на 1000 м³ сырьевого газа.

Реализация всей схемы СЭВС на крупном ПДППГКГ позволяет снизить удельный годовой расход топлива в системе на выработку 1 МВт тепловой и электрической энергии на 12–14 %. Приведем результаты сопоставительного анализа трех вариантов СЭВС по частным критериям эффективности для действующих предприятий подготовки и переработки газа при модернизации ЭК. Рассмотрены варианты СЭВС, где технологический блок 3 с котлом-утилизатором (см. рис. 2) представлен газотурбинными установками с выработкой электроэнергии для собственных нужд, а в силовом блоке устанавливаются паровые турбины К-6-2,4. Варианты отличаются составом тепло- и электрогенерирующего оборудования: 1) – 3 турбины GT8C2, 3 котла КУ-93, 3 турбины К-6-2,4; 2) – 2 турбины V-64.3А и 2 котла КУ-120, 2 турбины К-6-2,4; 3) – 4 турбины GTX-100 и 4 котла КУ-60, 2 турбины К-6-2,4. В качестве альтернативной замещаемой схемы энергообеспечения объекта принят вариант электроснабжения от системы с конденсационными электростанциями и теплоснабжения от производственной котельной.

Сопоставительный анализ показателей рассмотренных вариантов (табл. 2) позволяет сделать вывод о целесообразности внедрения в структуру энергетического комплекса предприятия подготовки и переработки газа СЭВС с составом оборудования варианта 1.

Аналогичным образом с использованием методики многокритериального анализа и программного обеспечения определяется эффективность внедрения СЭВС в структуру энергетического хозяйства любого ПДППГКГ. Чистый дисконтированный доход, определенный за 10 лет в расчете на 1 МВт суммарной электрической и тепловой мощности в зависимости от типа предприятия составит

8,06–18,01 млн. руб./МВт, внутренняя норма доходности – 21,1–28,2 %, индекс доходности 2,5–3,1 руб./руб., срок окупаемости инвестиций – 7,8–9,0 лет.

Таблица 2

Показатели эффективности вариантов СЭВС

	1	2	3
Коэффициент рационализации:			
– энергопотребления	0,255	0,316	0,217
– использования топлива	1	0,881	0,995
– водопотребления	0,916	0,912	0,902
– водоотведения	0,974	0,973	0,970
Удельная экономия топлива в системе, т у. т./МВт·год	343,7	302,5	342,0

Выводы

1. Разработана эффективная ресурсосберегающая система энерго- водообеспечения в общей наиболее полной комплектации оборудования для предприятий добычи, подготовки и переработки газа и газового конденсата.

2. Приведена методика комплексной оценки эффективности системы по технико-экономическим и энерготехнологическим критериям.

3. Показана эффективность ресурсосберегающей системы энерго- водообеспечения в процессах подготовки и переработки газа и газового конденсата с возможностью снижения удельного годового расхода топлива на выработку 1 МВт тепловой и электрической энергии на 12–14 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 114424 РФ. Установка электро- тепло- водоснабжения предприятий добычи, транспорта и переработки углеводородного сырья/ Долотовский И.В. – опубл. 27.03.2012, Бюл. №9.
2. Пат. 114424 РФ. Установка регенерации абсорбента с термической утилизацией горючих отходов/ Долотовский И.В., Ленкова А.В. – опубл. 27.03.2012, Бюл. № 9.
3. Математическое моделирование и оптимизация технических решений по утилизации горючих отходов установок подготовки и переработки углеводородного сырья/ Е.А. Ларин, И.В. Долотовский, А.В. Кульбякина// Энергосбережение в Саратовской области. – 2011. – №3 (45). – С. 21-22.
4. Пат. 2465639 РФ. Информационно-аналитическая система нормирования и оптимизации выработки и потребления топлива и энергоносителей на предприятии/ Долотовский И.В., Ларин Е.А., Долотовская Н.В. – № 2011147445; заявл. 22.11.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. №30.

Долотовский Игорь Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Теплоэнергетика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Igor V. Dolotovskij – Ph. D., Senior Researcher
Department of Heat Power Engineering
Gagarin Saratov State Technical University

Ларин Евгений Александрович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Eugeniy A. Larin – Ph. D., Professor
Department of Heat Power Engineering
Gagarin Saratov State Technical University

Ленкова Александра Викторовна – аспирант кафедры «Теплоэнергетика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksandra V. Lenkova – Postgraduate
Department of Heat Power Engineering
Gagarin Saratov State Technical University

Долотовская Надежда Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная теплотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Nadezhda V. Dolotovskaya – Ph. D., Associate Professor
Department of Industrial Heat Engineering
Gagarin Saratov State Technical University

Б.А. Семенов

**МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ УСЛОВИЙ АНТИКОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНЫХ ПАРОВ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПОВ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Описана разработанная автором инженерная методика, позволяющая выявлять причины множественных протечек, возникающих в холодное время года в промышленных зданиях с облегченными многослойными конструкциями из-за конденсации водяных паров внутри чердачных помещений, и обосновывать условия антиконденсации с использованием комплекса теплотехнических расчетов, основанных на принципах термодинамического анализа.

Влажный воздух, параметры состояния, воздухопроницаемость перекрытий, конденсация, обоснование условия антиконденсации

B.A. Semyonov

**FEASIBILITY METHOD FOR ANTICONDENSATION EVAPORATION
IN INDUSTRIAL BUILDINGS USING THERMODYNAMIC ANALYSIS PRINCIPLES**

The authors have developed an engineering method for diagnosing leakage problems arising during the cold seasons in industrial buildings with multilayer constructions. These problems are caused by water vapor condensation in garrets. The new method is used to validate the conditions of anti condensation with complexes of heat engineering calculations based on the thermodynamic analysis principles.

Humid air, condition parameters, air permeability of overhead coverings, condensation, substantiation of anti condensation conditions

В настоящее время широкое распространение в нашей стране получили технологии возведения и реконструкции промышленных зданий на основе современных облегченных многослойных ограждений, которые уже давно и с успехом применяются в США и странах западной Европы. При этом в ряде случаев приходится сталкиваться с фактами возникновения протечек в результате широкомащтабной конденсации влаги, возникающей в различных элементах таких зданий при понижении температуры наружного воздуха (в основном на чердаках, внутри чердачных перекрытий, реже – в толще стен). Как показывает практика, особенно интенсивно конденсация влаги проявляется тогда, когда такие здания оборудуются системами технологического кондиционирования воздуха, круглогодично поддерживающими постоянный тепловлажностный режим в производственных помещениях на уровне $t_B \geq 20$ °С; $\varphi_B \geq 60$ % и создающими, как правило, избыточное давление внутри зданий не меньше 10 Па, согласно требованиям СНиП [1].

Основными причинами, приводящими к возникновению конденсации, следует считать несовершенство нормативной базы, необходимой для проектирования зданий на основе облегченных конструкций в климатических условиях нашей страны, отсутствие достаточного опыта проектировщиков и связанный с этим недоучет ряда значимых факторов, таких как: особенность внутреннего тепловлажностного режима помещений, повышенная воздухо- и паропроницаемость многослойных теплоизоляционных конструкций, а также низкое качество работ, традиционное для отечественной строительной отрасли.

Для исключения внутренней конденсации влаги на действующих промышленных объектах необходимо выполнение ряда мероприятий, которые могут быть обоснованы лишь после выполнения обследования тепловлажностных режимов и фактических показателей воздухо- и паропроницаемости ограждающих конструкций. Однако методика выполнения таких обследований с использованием неразрушающих методов и последующей обработки полученных результатов ни в справочной, ни в нормативной литературе не встречается.

Научное обоснование основных положений разработанной автором методики неразрушающего обследования тепловлажностного режима с последующим обоснованием условий антиконденсации водяных паров в чердачных помещениях на основе термодинамического анализа параметров

состояния влажного воздуха и комплекса теплотехнических расчетов с реальным примером практического использования приводится в настоящей работе.

На рис. 1 представлена фотография, наглядно иллюстрирующая крупномасштабную конденсацию влаги, которая стала регулярно возникать в холодные периоды года на чердаке производственного корпуса одного из саратовских предприятий после реконструкции здания с использованием облегченной многослойной конструкции чердачного перекрытия.

Обследование данного объекта было выполнено весной 2009 г. В результате обследования были произведены одномоментные многократные совместные психрометрические измерения (температуры и относительной влажности воздуха) в трех характерных зонах: непосредственно в чердачном помещении ($t_{ч}$, °С; $\varphi_{ч}$, %), в примыкающих производственных помещениях последнего этажа ($t_{в}$, °С; $\varphi_{в}$, %) и в наружном воздухе ($t_{н}$, °С; $\varphi_{н}$, %). Кроме этого, совместно с основными измерениями внутри чердачного помещения проводились измерения температуры поверхностей ограждающих конструкций: наружной поверхности чердачного перекрытия ($t_{п}$, °С) и внутренней поверхности настила крыши ($t_{к}$, °С) при помощи лазерного пирометра. Все перечисленные точки, обозначенные соответствующими символами, показаны на схеме рис. 2.

По результатам многократных измерений, выполненных в разных местах обследованного чердачного помещения и осредненных по отдельности для каждой категории характерных точек, на $h-d$ диаграмму были нанесены расчетные точки $Ч$, $В$, $Н$, $П$ и $К$, определившие ряд характерных состояний и термодинамических процессов изменения параметров влажного воздуха, схематично показанных на рис. 3.

Из представленной схемы видно, что параметры $Ч$, характеризующие внутренний тепловлажностный режим чердачного помещения, формируются в результате перемешивания некоторой части внутреннего воздуха, который с параметрами $В$ эксфильтрируется через неплотности из цеха в чердачное помещение, где смешивается с проникающим туда же наружным воздухом, имеющим параметры $Н$. При этом полученная смесь, имеющая параметры $С$, охлаждается по $d=const$ до параметров $Ч$ за счет теплоотдачи при соприкосновении с холодной внутренней поверхностью металлического листа крыши, температура которой (в точке $К$) мало отличается от температуры наружного воздуха.

С другой стороны, полученная смесь нагревается в результате теплоотдачи от верха чердачного перекрытия, поверхность которого (за счет тепловых потерь цеха) имеет параметры $П$. Поэтому можно считать, что величина результирующего теплового потока, $Q_{охл}$, Вт, охлаждающего образующуюся на чердаке смесь внутреннего и наружного воздуха, определяется разностью отведенного и подведенного потоков явной теплоты:

$$Q_{охл} = Q_{кр} - Q_{чп}, \quad (1)$$

где $Q_{кр}$ – конвективный тепловой поток, уходящий в окружающую среду через поверхность крыши, Вт; $Q_{чп}$ – конвективный тепловой поток, поступающий на чердак в результате тепловых потерь через перекрытие, Вт.



Рис. 1. Картина конденсации в чердачном помещении

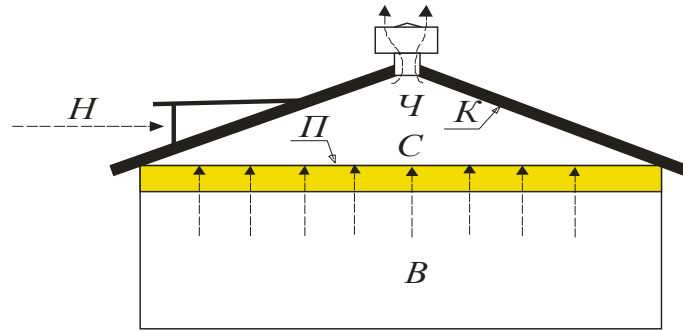


Рис. 2. Схема расположения характерных точек

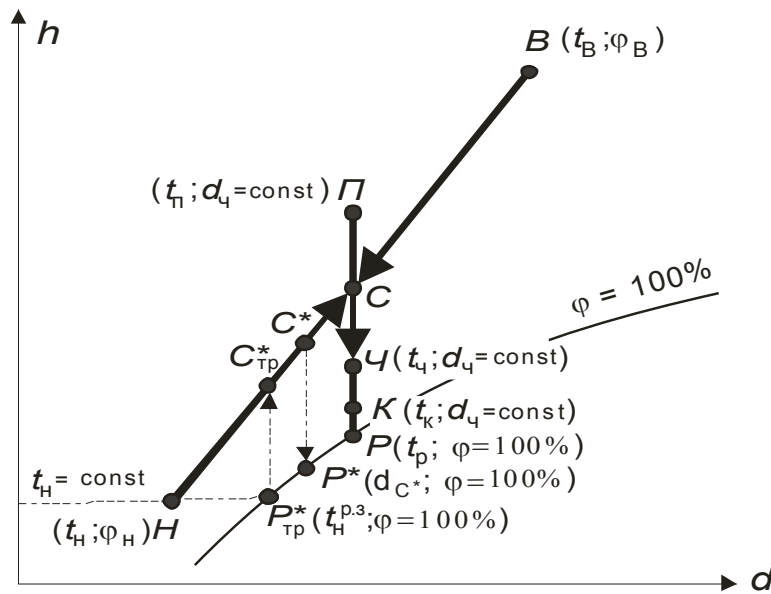


Рис. 3. Схема процессов изменения состояний влажного воздуха в чердачном помещении

Подведенный и отведенный тепловые потоки могут быть определены с учетом результатов измерения температур как

$$Q_{кр} = \alpha_{int} \cdot F_{кр} \cdot (t_{ч} - t_{к}); \quad Q_{чн} = \alpha_{int} \cdot F_{чн} \cdot (t_{п} - t_{ч}), \quad (2)$$

где $t_{ч}$, $t_{к}$, $t_{п}$ — средние по результатам измерения температуры воздуха в соответствующих точках, °С; $F_{кр}$, $F_{чн}$ — площади обращенных на чердак поверхностей крыши и чердачного перекрытия, м²; α_{int} — коэффициент теплоотдачи на внутренних поверхностях ограждений чердачного помещения, Вт/(м²·°С), принимаемый согласно рекомендациям СНиП [2].

Далее косвенным путем находят фактические значения сопротивлений теплопередаче крышного настила и чердачного перекрытия:

$$R_{о,кр} = F_{кр} \frac{(t_{ч} - t_{H})}{Q_{кр}} = \frac{1}{\alpha_{int}} \cdot \frac{(t_{ч} - t_{H})}{(t_{ч} - t_{к})}; \quad R_{о,чн} = F_{чн} \frac{(t_{B} - t_{ч})}{Q_{чн}} = \frac{1}{\alpha_{int}} \cdot \frac{(t_{B} - t_{ч})}{(t_{п} - t_{ч})}, \quad (3)$$

$R_{о,кр}$, $R_{о,чн}$ — фактические значения полных сопротивлений теплопередаче крышного настила и чердачного перекрытия, м²·°С /Вт.

Общий расход поступающей на чердак смеси внутреннего и наружного воздуха $G_{см}$, кг/с, находится по найденному значению $Q_{охл}$ и разности считанных с $h-d$ диаграммы энтальпий воздушной смеси до – и после ее охлаждения ($h_{с} - h_{ч}$), кДж/кг,

$$G_{см} = \frac{Q_{охл}}{h_{с} - h_{ч}} = \frac{Q_{кр} - Q_{чн}}{h_{с} - h_{ч}}. \quad (4)$$

Относительная доля наружного воздуха в смеси \bar{G}_H может быть определена по закону смешения с использованием считанных с $h-d$ диаграммы значений влагосодержания воздуха в характерных зонах d_B , d_H и $d_C = d_C$, г/кг, как

$$\bar{G}_H = \frac{G_H}{G_{cm}} = \frac{d_B - d_C}{d_B - d_H} . \quad (5)$$

Далее легко определить абсолютные расходы наружного – G_H , кг/с, и внутреннего – G_B , кг/с, воздуха, поступающие на чердак в результате двух параллельных процессов инфильтрации снаружи и эксфильтрации из цеха

$$G_H = \bar{G}_H \cdot G_{cm} \quad ; \quad G_B = (1 - \bar{G}_H) \cdot G_{cm} , \quad (6)$$

Фактическая воздухопроницаемость чердачного перекрытия g_ϕ , кг/(ч·м²) при этом составит

$$g_\phi = 3600 \cdot \frac{G_B}{F_{cm}} . \quad (7)$$

Установленная СНиПом [2] нормативная воздухопроницаемость чердачных перекрытий промышленных зданий составляет $g_n = 1,0$ кг/(ч·м²). В том случае, если фактическая воздухопроницаемость превышает нормативную величину, первый вывод по результатам выполненного обследования должен заключаться в доведении воздухопроницаемости чердачного перекрытия до нормативного значения. Этого можно добиться путем введения дополнительного конструктивного слоя из материала с высоким сопротивлением воздухопроницанию, а также за счет дополнительного уплотнения и тщательной герметизации стыков между конструктивными элементами чердачного перекрытия.

Далее, приняв полученную после герметизации воздухопроницаемость перекрытия, g_ϕ^* , равной нормативной величине, g_n , можно рассчитать уменьшенный расход эксфильтрующегося внутреннего воздуха, G_B^* , после уплотнения перекрытия

$$G_B^* = g_\phi^* \cdot F_{cm} . \quad (8)$$

При этом, сохранив постоянным полученное в результате обследования фактическое значение расхода поступающего на чердак наружного воздуха, $G_H = const$, рассчитывается новое значение d_C^* , характеризующее влагосодержание воздушной смеси после уплотнения чердачного перекрытия:

$$d_C^* = d_H + \frac{G_B^*}{G_B^* + G_H} (d_B - d_H) . \quad (9)$$

Используя числовое значение $d_C^* = const$, в $h-d$ диаграмме строится новая точка C^* , лежащая на построенной ранее линии смешения ВН, как показано на рис. 3. Эта точка покажет новые параметры, которые будет иметь воздушная смесь после доведения воздухопроницаемости чердачного перекрытия до нормативной величины. Далее, проведя через точку C^* вертикальную линию $d_C^* = const$, до пересечения с $\phi = 100\%$, получим новую точку росы P^* .

В том случае, если новая температура точки росы t_p^* , °С, окажется существенно меньшей температуры наружного воздуха, может быть сделан предварительный вывод о невозможности возникновения конденсации, так как ни один из элементов конструкции не может иметь температуру, меньшую температуры наружного воздуха.

Однако, сделав такой вывод, следует понимать, что он будет справедлив только в одном частном случае: при значениях параметров внутреннего и наружного воздуха, зафиксированным в момент проведения обследования. Поэтому далее возникает задача прогнозирования возможности возникновения конденсации при понижении наружной температуры. Для решения этой задачи предлагается использовать следующий алгоритм.

1. Задаются значения варьируемых параметров: t_H , °С; ϕ_H , % и g , кг/(ч·м²).
2. Вводятся значения параметров внутреннего воздуха t_B , °С; ϕ_B , % и постоянных величин (характеристик объекта), вычисленных по результатам измерений в процессе обследования: $F_{кр}$, м²; F_{cm} , м²; $R_{o,кр}$, м²·°С/Вт; $R_{o,чп}$, м²·°С/Вт; α_{int} , Вт/(м²·°С); G_H , кг/ч.
3. Точки H и B наносятся на $h-d$ диаграмму и по ним определяются недостающие параметры соответствующих состояний: d_H , г/кг; h_H , кДж/кг; d_B , г/кг; h_B , кДж/кг.

4. Определяются составляющие материального баланса: расход внутреннего воздуха G_B , кг/ч; общий расход смеси, $G_{см}$, кг/ч, и доля наружного воздуха в смеси \bar{G}_H :

$$G_B = g \cdot F_{чл}; \quad G_{см} = G_H + G_B; \quad \bar{G}_H = G_H / G_{см}. \quad (10)$$

5. Рассчитываются термодинамические параметры смеси внутреннего и наружного воздуха на чердаке: d_{C^*} , г/кг; h_{C^*} , кДж/кг:

$$d_{C^*} = d_H + (1 - \bar{G}_H) \cdot (d_B - d_H); \quad h_{C^*} = h_H + (1 - \bar{G}_H) \cdot (h_B - h_H). \quad (11)$$

6. Рассчитывается температура t_{C^*} , °С, воздушной смеси на чердаке:

$$t_{C^*} = \frac{h_{C^*} - 2,5 \cdot d_{C^*}}{1,005 + 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot d_{C^*}}. \quad (12)$$

7. По температуре t_{C^*} , °С, определяется парциальное давление насыщенного водяного пара в воздухе, E_{C^*} , Па. Для этого, согласно [3], может быть использована одна из двух следующих зависимостей:

$$E = T^{C_7} \cdot \exp(C_1 \cdot T^{-1} + C_2 + C_3 \cdot T + C_4 \cdot T^2 + C_5 \cdot T^3 + C_6 \cdot T^4) \quad \text{при } -100 \leq t \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (13)$$

$$E = T^{C_{13}} \cdot \exp(C_8 \cdot T^{-1} + C_9 + C_{10} \cdot T + C_{11} \cdot T^2 + C_{12} \cdot T^3) \quad \text{при } 0 < t \leq 200 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (14)$$

где T – абсолютная температура воздуха, К; $C_1 - C_{13}$ – постоянные коэффициенты, значения которых по данным [3] представлены в табл. 1 и 2.

Коэффициенты (13) по данным ASHRAE (при t от 0 до -100 °С)

Таблица 1

C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
-5674,5359	6,3925247	$-9,677843 \cdot 10^{-3}$	$6,22157 \cdot 10^{-7}$	$2,07478 \cdot 10^{-9}$	$-9,48402 \cdot 10^{-13}$	4,1635019

Коэффициенты (14) по данным ASHRAE (при t от 0 до 200 °С)

Таблица 2

C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}
-5800,2206	1,3914993	$-4,8640239 \cdot 10^{-2}$	$4,1764768 \cdot 10^{-5}$	$-1,4452093 \cdot 10^{-8}$	6,5459673

8. Далее по ранее определенному влагосодержанию смеси находится фактическое парциальное давление водяного пара в воздухе, e , Па:

$$e = B / \left(\frac{622}{d_{C^*}} + 1 \right), \quad (15)$$

где B – барометрическое атмосферное давление, Па.

9. Рассчитывается относительная влажность воздушной смеси, φ_{C^*} , %, как

$$\varphi_{C^*} = \frac{e}{E} \cdot 100\%. \quad (16)$$

10. Проверяется выполнение условия

$$\varphi_{C^*} \leq 100\%. \quad (17)$$

11. При невыполнении данного условия делается вывод о неизбежности выпадения конденсата непосредственно в момент смешения внутреннего воздуха с наружным. При этом для расчета новых параметров C_{l^*} , которые должна будет иметь смесь после выпадения из нее избыточного количества влаги, неизменной остается только рассчитанная ранее по формуле (12) температура смеси t_{C^*} , °С, которая в данном случае количественно определит точку росы воздушной смеси после окончания процесса конденсации. Поэтому, приняв $t_{C_{l^*}} = t_{C^*}$; $\varphi_{C_{l^*}} = 100\%$ и $e = E$, рассчитываются новые значения влагосодержания и энтальпии и смеси:

$$d_{C_{l^*}} = 622 \cdot \frac{e}{B - e}; \quad h_{C_{l^*}} = 1,005 \cdot t_{C_{l^*}} + (2500 + 1,8 \cdot t_{C_{l^*}}) \cdot \frac{d_{C_{l^*}}}{1000}. \quad (18)$$

12. В случае выполнения условия (17) конденсация водяных паров в процессе смесеобразования не произойдет. Поэтому все рассчитанные по формулам (11), (12) и (16) параметры смеси (d_{C^*} ;

h_{C^*} ; t_{C^*} и φ_{C^*}) сохраняются неизменными для использования в дальнейших расчетах, а точка C_I^* на $h-d$ диаграмме совпадет с точкой C^* .

13. Количество конденсата, W_C , кг/ч, выпадающего в момент смесеобразования, рассчитывается как

$$W_C = G_{см} \cdot (d_{C^*} - d_{C_I^*}). \quad (19)$$

14. Далее на основе теплового баланса подведенных и отведенных потоков явной и скрытой теплоты рассчитывается температура $t_{ч}$, °С, которая будет иметь место после охлаждения (или нагрева) воздушной смеси на чердаке:

$$t_{ч} = \frac{t_B \cdot F_{ун} / R_{ун} + t_H \cdot F_{кр} / R_{кр} + 1,005 \cdot t_{C_I^*} \cdot G_{см} \cdot (1 + 1,8 \cdot d_{C_I^*} / 1005) / 3,6}{F_{ун} / R_{ун} + F_{кр} / R_{кр} + 1,005 \cdot G_{см} \cdot (1 + 1,8 \cdot d_{C_I^*} / 1005) / 3,6}. \quad (20)$$

15. По аналогии с п. 7 при температуре $t_{ч}$, °С, определяется парциальное давление насыщения $E_{ч}$, Па; при значении $d_{ч} = d_{C_I^*}$, г/кг, по формуле (15) определяется фактическое парциальное давление водяного пара $e_{ч}$, Па, в воздухе с параметрами $Ч$, а затем выполняются действия, аналогичные описанным выше в п.16-19, по результатам которых делается вывод об отсутствии или наличии условий для конденсации водяного пара из воздуха с параметрами $Ч$ во всем объеме чердачного помещения.

16. При установлении факта объемной конденсации определяются параметры точки $Ч_I$, которая определит состояние воздуха на чердаке после удаления из него избыточной влаги, и рассчитывается количество выпавшего конденсата $W_{ч}$, кг/ч:

$$W_{ч} = G_{см} \cdot (d_{ч} - d_{ч_I}). \quad (21)$$

17. Далее определяются температуры обращенных внутрь чердачного помещения поверхностей: крышного настила, t_K , °С, и чердачного перекрытия, t_{II} , °С,

$$t_K = t_{ч} - \frac{t_{ч} - t_H}{R_{о,кр} \cdot \alpha_{int}}; \quad t_{II} = t_{ч} + \frac{t_B - t_{ч}}{R_{о,ун} \cdot \alpha_{int}}. \quad (22)$$

18. По аналогии с п. 7 при температуре t_K , °С, определяется парциальное давление насыщения E_K , Па; при значении $d_K = d_{ч_I}$, г/кг, по формуле (15) определяется фактическое парциальное давление водяного пара e_K , Па, в воздухе с параметрами K (которые будут наблюдаться в тонком слое у внутренней поверхности крышного настила), а затем выполняются действия, аналогичные описанным выше в п.16-19, в результате которых делается вывод об отсутствии или наличии конденсации водяного пара из воздуха с параметрами K на внутренней поверхности крыши.

19. При установлении факта поверхностной конденсации определяются параметры точки K_I , которая определит состояние воздуха на чердаке после удаления из него избыточной влаги, и рассчитывается количество конденсата W_K , кг/ч, выпавшего на внутренней поверхности крыши:

$$W_K = G_{см} \cdot (d_K - d_{K_I}). \quad (21)$$

20. Далее все описанные процедуры полностью повторяются для точки II с целью определения количества конденсата, W_{II} , кг/ч, выпадающего на поверхности чердачного перекрытия при температуре t_{II} , °С:

$$W_{II} = G_{см} \cdot (d_{II} - d_{II_I}). \quad (22)$$

21. В заключение определяется общее прогнозное количество выпадающего конденсата по сумме всех отдельных составляющих:

$$\Sigma W = W_C + W_{ч} + W_K + W_{II}. \quad (23)$$

В качестве реального примера практической реализации предлагаемой методики ниже представлены исходные данные, полученные при обследовании одного из саратовских предприятий, и основанные на них результаты термодинамического анализа условий возникновения широкомасштабной конденсации водяных паров в чердачном помещении главного производственного корпуса этого предприятия, оборудованного системой круглогодичного технологического кондиционирования воздуха.

В табл. 3 представлены необходимые исходные данные, полученные на основании обработки результатов прямых измерений.

Таблица 3

Параметры влажного воздуха в характерных точках

Точки	t, °C	φ, %	Парциальные давления пара		Влаго-содержание, d г/кг	Энтальпия, h, кДж/кг
			E, Па	e, Па		
Н	1,22	78,17	667,4	521,68	3,244	9,34
В	21,60	58,00	2580,9	1496,93	9,401	45,58
Ч	5,25	84,00	887,8	745,77	4,648	16,94
К	2,95	98,73	755,3	745,77	4,648	14,61
П	6,52	76,93	969,4	745,77	4,648	18,23
С	5,90	80,27	929,1	745,77	4,648	17,60

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, полученные после осреднения результатов многократных прямых измерений в каждой точке.

Основные константы и характеристики объекта, рассчитанные на основе данных табл. 3 по формулам (1)-(7), представлены в табл. 4.

На рис. 4 представлены прогнозные кривые, построенные по результатам многовариантного расчета, выполненного с использованием предлагаемой методики термодинамического анализа и наглядно иллюстрирующие динамику поэлементных изменений интенсивности конденсации влаги при фактической воздухопроницаемости обследованного чердачного перекрытия по мере снижения температуры наружного воздуха.

Анализ представленных графиков показывает, что выпадение конденсата на данном объекте должно начинаться с внутренней поверхности крышного настила при снижении температуры наружного воздуха до +1 °C. При снижении наружной температуры до - 6 °C должна дополнительно возникать конденсация во всем объеме чердачного помещения, а при дальнейшем снижении наружной температуры до - 8 °C конденсация должна становиться широкомасштабной, при которой к процессам поверхностной и объемной конденсации должен добавиться еще один процесс: конденсация при смесеобразовании.

Таблица 4

Расчетные характеристики обследованного объекта по результатам косвенных измерений

№	Параметры	Значения
1	Площадь внутренней поверхности крыши, $F_{кр}$, м ²	480,28
2	Площадь верха чердачного перекрытия, $F_{ч.п.}$, м ²	442,68
3	Коэффициент теплоотдачи поверхностей, α_{int} , Вт/м ² °C	7,6
4	Подводимый тепловой поток от чердачного перекрытия, $Q_{ч.п.}$, Вт	4272,42
5	Тепловой поток, уходящий через крышу, $Q_{кр}$, Вт	8395,35
6	Фактическое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия, $R_{о,чп.}$, м ² °C/Вт	1,69
7	Фактическое сопротивление теплопередаче настила крыши, $R_{о,кр.}$, м ² °C/Вт	0,23
8	Суммарный тепловой поток, охлаждающий воздух, $Q_{охл.}$, кВт	4,123
9	Суммарный воздухообмен чердачного помещения, $G_{см.}$, кг/ч	22389,2
10	Доля наружного воздуха в общем воздухообмене, \bar{G}_H	0,772

11	Расход наружного воздуха, поступающего на чердак G_H , кг/ч	17283,5
12	Расход проникающего из цеха внутреннего воздуха, G_B , кг/ч	5105,7
13	Фактическая воздухопроницаемость чердач. перекрыр, г, кг/ч·м ²	11,53
14	Нормативная воздухопроницаемость чердачных перекрытий промышленных зданий по СНиП 23-02-2003, $g_{норм}$, кг/ч·м ²	1,00
Вывод:	Норматив воздухопроницаемости превышен почти в 12 раз	

Примечание: жирным шрифтом выделены дополнительные данные, использованные в расчетах.

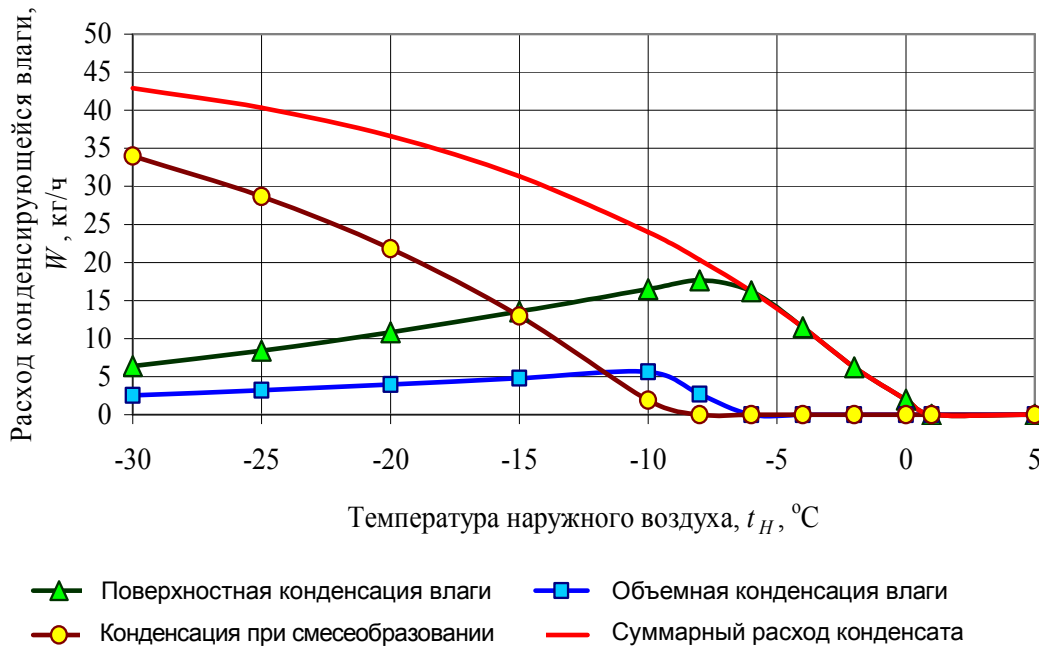


Рис. 4. Прогнозные кривые изменения интенсивности конденсатообразования в обследованном чердачном помещении при понижении температуры наружного воздуха

Представленная прогнозная картина хорошо согласуется с визуальными наблюдениями. В частности, представителями Заказчика подтверждаются факты начала массовых протечек конденсата через неплотности перекрытия в цех при температурах наружного воздуха, близких к нулю, и нарастания их интенсивности по мере дальнейшего снижения наружной температуры в области отрицательных значений. Кроме того, имеются свидетельства возникновения явно заметных облаков пара над крышей здания, свидетельствующих о начале объемной конденсации при температурах, меньших – (6÷8) °C. Это дает основание считать прогнозные результаты, полученные с использованием предлагаемой методики термодинамического анализа, достоверными и рекомендовать данную методику для формирования принципиального подхода к обоснованию условий антиконденсации.

В основе такого подхода должно быть выполнение следующего неравенства:

$$t_P^{TP} \leq t_H = t_H^{p-3}, \tag{24}$$

физический смысл которого заключается в том, что требуемая точка росы воздушной смеси на чердаке t_P^{TP} , °C, не должна превышать расчетную зимнюю температуру наружного воздуха, t_H^{p-3} , °C. Выполнение этого условия определит требуемое положение точки $C_{тр}^*$ на линии смешения внутреннего и наружного воздуха, гарантирующее отсутствие на чердаке каких бы то ни было конструктивных элементов с температурами, меньшими точки росы, что должно исключить возможность конденсации водяных паров на металлических балках и внутренней поверхности крыши.

Схема построения точки $C_{тр}^*$ в $h-d$ диаграмме показана на рис. 3. После построения этой точки с $h-d$ диаграммы может быть считано значение требуемого влагосодержания воздушной смеси, $d_{C^*}^{TP}$, г/кг.

Однако, как показывает практика, при низких расчетных зимних температурах и высоких значениях относительной влажности наружного воздуха требуемое значение влагосодержания смеси, считанное с h-d диаграммы, может содержать значительную погрешность, поэтому для его определения лучше использовать следующий расчетный метод. При выбранном из СНиПа [4] значении расчетной зимней температуры наружного воздуха $t_H^{p.3}$, °C по выражениям (13) или (14) определяется парциальное давление насыщенных водяных паров в наружном воздухе E , Па. Далее, используя полученное значение с условием, что при $\varphi = 100\% \rightarrow E = e$, по формуле (18) рассчитывается соответствующее случаю полного насыщения влагосодержание наружного воздуха, которое, согласно схеме рис. 3, будет количественно определять требуемое значение влагосодержания смеси $d_{C^*}^{TP}$, г/кг.

По величине требуемого влагосодержания смеси и известному расходу поступающего на чердак наружного воздуха, G_H , кг/ч, легко найти максимально допустимый расход внутреннего воздуха, G_B^{TP} , кг/ч, который может эксфильтрироваться из цеха в чердачное помещение, а затем определить максимально допустимую воздухопроницаемость чердачного перекрытия:

$$G_B^{\max} = G_H \cdot \frac{d_{C^*}^{TP} - d_H}{d_B - d_{C^*}^{TP}}; \quad g_{\max} = \frac{G_B^{\max}}{F_{\text{чп}}}, \quad (25)$$

где g_{\max} – максимально допустимая воздухопроницаемость чердачного перекрытия по условию антиконденсации, кг/(ч·м²).

В качестве примера в табл. 5 представлены исходные данные и результаты расчета максимально допустимой воздухопроницаемости чердачного перекрытия обследованного объекта.

Таблица 5

Обоснование максимально допустимой воздухопроницаемости чердачного перекрытия по условию антиконденсации

№	Параметры	Значения
1	Расчетная зимняя температура наружного воздуха, t_H , °C	-27,00
2	Парциальное давление насыщенных водяных паров, E , Па	51,7
3	Требуемое влагосодержание смеси, $d_{C^*}^{TP}$, г/кг	0,320
4	Расход наружного воздуха, поступающего на чердак G_H , кг/ч	17283,5
5	Влагосодержание наружного воздуха, d_H , г/кг	0,263
6	Влагосодержание внутреннего воздуха, d_B , г/кг	9,401
7	Максимально допустимый расход эксфильтрирующегося внутреннего воздуха, G_B^{\max} , кг/ч	109,78
8	Площадь верха чердачного перекрытия, $F_{\text{чп}}$, м ²	442,68
9	Максимально допустимая воздухопроницаемость чердачного перекрытия, $g_{\text{тр}}$, кг/ч м ²	0,248

На основе полученных результатов были разработаны и реализованы практические мероприятия, позволившие полностью ликвидировать конденсацию водяных паров в чердачном помещении обследованного объекта. Это реально подтвердило прогнозную достоверность использованной методологии термодинамического анализа, эффективность выбранного подхода и практическую значимость предлагаемой инженерной методики.

Кроме того, анализируя результаты выполненных расчетов, следует особо отметить, что полученное в данном случае числовое значение максимально допустимой воздухопроницаемости чердачного перекрытия по условию антиконденсации, гораздо меньше нормативной величины, установленной СНиПом [2]. Это значит, что при проектировании промышленных зданий с использованием облегченных многослойных конструкций во избежание возможности возникновения ширококомасштабной конденсации водяных паров необходимо выполнять дополнительное обоснование максимально допустимой воздухопроницаемости чердачных перекрытий с использованием принципов, изложенных в настоящей статье.

Вывод. Разработанная методика, основанная на принципах термодинамического анализа и подтвержденная реальным внедрением полученных с ее помощью результатов, позволяет выявлять причины, количественно оценивать интенсивность конденсационных процессов и определять требуемые условия, полностью исключающие возможность ширококомасштабного конденсатообразования в промышленных зданиях при понижении температуры наружного воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Нормы проектирования. М.: ФГУП ЦПП Госстроя России. 2004. 55 с.
2. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. М.: ФГУП ЦПП Госстроя России, 2004. 26 с.
3. Тарабанов М.Г. Влажный воздух: справ. пособие / М.Г. Тарабанов, В.Д. Коркин, В.Ф. Сергеев. М.: НП «АВОК». 2004. 35 с.
4. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. М.: ГУП ЦПП Госстроя РФ, 2000. 58 с. (с изм. №1, 2003 г.)

Семёнов Борис Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Boris A. Semyonov – Dr. Sc., Professor
Head: Department of Industrial Heat Engineering
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 17.08.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 662.732

В.Ф. Симонов, А.А. Селиванов

ДИНАМИКА ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ СЕРНИСТОГО СЛАНЦА С УЧЕТОМ ЭНДОТЕРМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Рассматривается реакторный блок для полукоксования сернистых сланцев Поволжья в установке с твердым теплоносителем. С использованием математической модели барабанного реактора проведена расчетная оценка влияния эндотермического эффекта на процесс термической деструкции сернистого сланца.

Сернистый сланец, термическое разложение, эндотермический эффект

V.F. Simonov, A.A. Selivanov

DYNAMICS OF SULPHUROUS OIL SHALE THERMAL DECOMPOSITION CONSIDERING THE ENDOTERMICHESKY EFFECT

The article deals with the reactor block for semi-coking sulphurous slates in the Volga region used for units with a firm heat-carrier. Using the mathematical model for the drum-type reactor, assessment is made referring the impact of endotermichesky effect on the thermal destruction process of sulphurous slates.

Sulfur oil shale, thermal decomposition, endothermic effect

Запасы сернистых горючих сланцев Саратовской области, по разным данным оцениваются в 9 млрд т. На сегодняшний день их использование практически ограничено в связи с рядом экономических, технических и экологических факторов. Однако многолетними исследованиями ученых под руководством профессора В.Г. Каширского была доказана целесообразность переработки горючих сланцев как органоминерального сырья. При этом сера, большей частью входящая в состав органического вещества, является составляющим компонентом ценных сераорганических соединений. К ним относятся тиофен и его производные, имеющие широкое применение в различных областях человеческой деятельности. Кроме того, учитывая постоянный рост мировых цен на традиционные энергоносители, уже в ближайшие десятилетия в Поволжье могут быть получены конкурентоспособные предприятия по переработке сернистого горючего сланца с автономным энергообеспечением.

В качестве головного процесса энерготехнологической схемы переработки сланца принята известная схема полукоксования топлива твердым (зольным) теплоносителем, догреваемым за счет дожигания остаточного углерода полукокса. Основным аппаратом данной схемы является барабанный реак-

тор, условия работы которого существенно влияют на состав оборудования как реакторного блока, так и системы аппаратов выделения конечных продуктов из парогазовой смеси (ПГС). Поэтому для создания подобных установок необходимо иметь адекватное математическое описание основных процессов, протекающих при взаимодействии сланцезольной смеси с учетом постоянно выделяющейся ПГС.

Сложный процесс термического разложения горючих сланцев состоит из цепи последовательных химических реакций, характеризующихся различными кинетическими характеристиками и тепловыми эффектами. Согласно работам Н.С. Фоминой, в процессе нагрева сланца в первую очередь происходит разложение термически лабильных структурных элементов органического вещества с отщеплением концевых отростков макромолекулы. В температурном интервале 180-350⁰С происходит внутренняя стабилизация, сопровождающаяся выделением водорода в виде воды, диоксида углерода и сероводорода. Дальнейший прогрев в интервале 350-400⁰С приводит к деструкции термобитума с образованием свободного водорода, первичных предельных углеводородов и оксида углерода. Смола же является продуктом последующей деструкции и внутримолекулярной перестройки вещества.

Полукоксование сланца в отличие от полукоксования древесины и торфа – процесс преимущественно эндотермический. Экспериментальные исследования закономерностей прогрева горючих сланцев проводились еще в 50-60-х годах XX века. Методом количественной термографии была определена теплота разложения органической части эстонского сланца, включая теплосодержание удаляющихся летучих, при нагреве его в интервале 200-550⁰С. В результате величина эндотермического эффекта составила 530±8 кДж/кг. Опыты с калориметрическим определением теплоты полукоксования сухого сланца (конечная температура 580⁰С) дали следующие результаты: с конденсацией смолы и воды в бомбе (420 ±80) кДж/кг органического вещества; без конденсации смолы и воды (по расчету) – около 720 кДж/кг органического вещества.

Теплота разложения органического вещества в первом приближении может быть учтена при расчете кратности циркуляции зольного теплоносителя в барабанном реакторе:

$$G_3 = \frac{G_{cl} \cdot c_{cl} \cdot (t_{нк} - t_{cl}) + q_{ном} + G_{cl} \cdot \varphi_0 \cdot q_{энд}}{c_3 \cdot (t_3 - t_{нк})}, \quad (1)$$

где G_3, G_{cl} – расход, соответственно, зольного теплоносителя и сухого сланца, кг/с; $q_{ном}$ – потери теплоты в окружающую среду, кВт; φ_0 – доля органического вещества в сухом сланце, кг/кг с.с.; $q_{энд}$ – величина эндотермического эффекта разложения условной органической массы (УОМ), кДж/кг.

Очевидно, что эндотермический эффект химических реакций термической деструкции органического вещества сланца будет снижать общий температурный уровень процесса, что, несомненно, скажется на интенсивности протекания теплообмена в системе сланец-ПГС-зола и на конечном составе продуктов ПГС. Кроме того, возможно увеличение времени пребывания сланцезольной смеси в барабанном реакторе. Поэтому при заданном временном интервале расчета Δt необходимо ввести температурную поправку с учетом постоянно выделяющихся парогазовых продуктов для полифракционных частиц сланца:

$$t'_{cli} = t_{cl} - \frac{(\varphi_{di} + \varphi_{zi} + \varphi_{cmi}) \cdot q_{энд}}{c_{cl} \cdot \varepsilon_i \cdot G_{cl}} \quad (2)$$

где, $\varphi_{di}, \varphi_{zi}, \varphi_{cmi}$ – выход, соответственно, газов дезоксидации, легких газов и смолы для i -й фракции сланца за промежутки времени Δt , кг/сек; ε_i – доля i -й фракции.

Для изучения влияния эндотермического эффекта на динамику разложения было проведено 2 численных эксперимента: 1) с учетом теплового эффекта разложения органического вещества ($q_{энд} = 530 \pm 8$ кДж/кг) 2) без учета теплового эффекта.

В основу расчета положена математическая модель процесса полукоксования горючего сланца с определением тепло- и массообмена и расчетом выходов парогазовых продуктов по соотношениям формальной химической кинетики, разработанная нами на кафедре «Промышленная теплотех-

ника» СГТУ [1]. В качестве исходных данных приняты конструктивные характеристики реактора УТТ-500 [2]: степень заполнения 0,5, диаметр барабана 3,5м, частота вращения 2 об/мин. Фракционный состав исходного сланца принят на основе опубликованных результатов ситового анализа сланца кашпирского месторождения. Технологический сланец представлен фракциями 3-5 мм (30%), 5-10мм (25%), 10-12мм (25%), 12-16 мм (20%).

Следует отметить, что результаты расчета полукоксования сернистого сланца Поволжья на математической модели показали удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными, изложенными в [3] при содержании УОМ=41,4%.

На рис. 1, 2 представлены результаты расчета динамики прогрева сланцевых частиц. Анализ приведенных результатов показал значительное отставание процесса теплообмена при учете теплового эффекта разложения органической массы сланца от скорости выделения летучих (рис. 1), что объясняется введенной нами температурной поправкой (2). Повышенное значение температур мелких фракций сланца по рис. 1 по сравнению с результатами расчета на рис. 2 связано с увеличением кратности циркуляции зольного теплоносителя (1), несмотря на учет эндотермичности процесса полукоксования. Таким образом, соотношение зольный теплоноситель-сланец при принятой величине эндотермического эффекта является определяющим в динамике прогрева сланца.

В табл. 2 приведены результаты расчетов выходов отдельных компонентов ПГС.

Таблица 2

Результаты расчета выхода летучих продуктов ПГС

№ опыта	Расход сухого сланца, кг/с	Расход зольного теплоносителя, кг/с	Выход летучих, кг/с(%)			Суммарный выход, кг/с	Время, сек
			газы дезоксидации	легкие газы	смола		
1	5,55	15,2	0,723	0,154	1,260	2,137	1170
2	5,55	9,67	0,512	0,156	1,469	2,137	1385

Исходя из принятых нами температурных условий последовательности выхода компонентов парогазовых продуктов, учет теплового эффекта приводит к перераспределению состава летучих с уменьшением смоляной части, вследствие торможения процесса теплообмена. Это обстоятельство влияет и на продолжительность пребывания сланцезольной смеси в реакторе, ограниченной по суммарному выходу летучих компонентов.

Таким образом, предложен расчетный принцип оценки влияния эндотермического эффекта на динамику термического разложения сернистых горючих сланцев. К сожалению все экспериментальные результаты датируются 50-60 годами прошлого века. Кроме того, учитывая сложность процесса термической деструкции сланца со всем многообразием химических реакций, необходимо более детальное экспериментальное исследование с определением значений теплового эффекта отдельных реакций.

Выводы

1. Разработанное математическое описание процесса полукоксования сернистого сланца Поволжья позволяет учесть эндотермические эффекты выделения летучих компонентов при термическом разложении органической массы исходного сланца.

2. Учет эндотермических эффектов существенно влияет на динамику термического разложения сернистого сланца и, соответственно, на режимные и конструктивные характеристики оборудования реакторного блока.

3. Полученные результаты свидетельствуют о принципиальной важности дальнейших экспериментальных исследований процессов полукоксования сернистого сланца на базе современной измерительной техники.

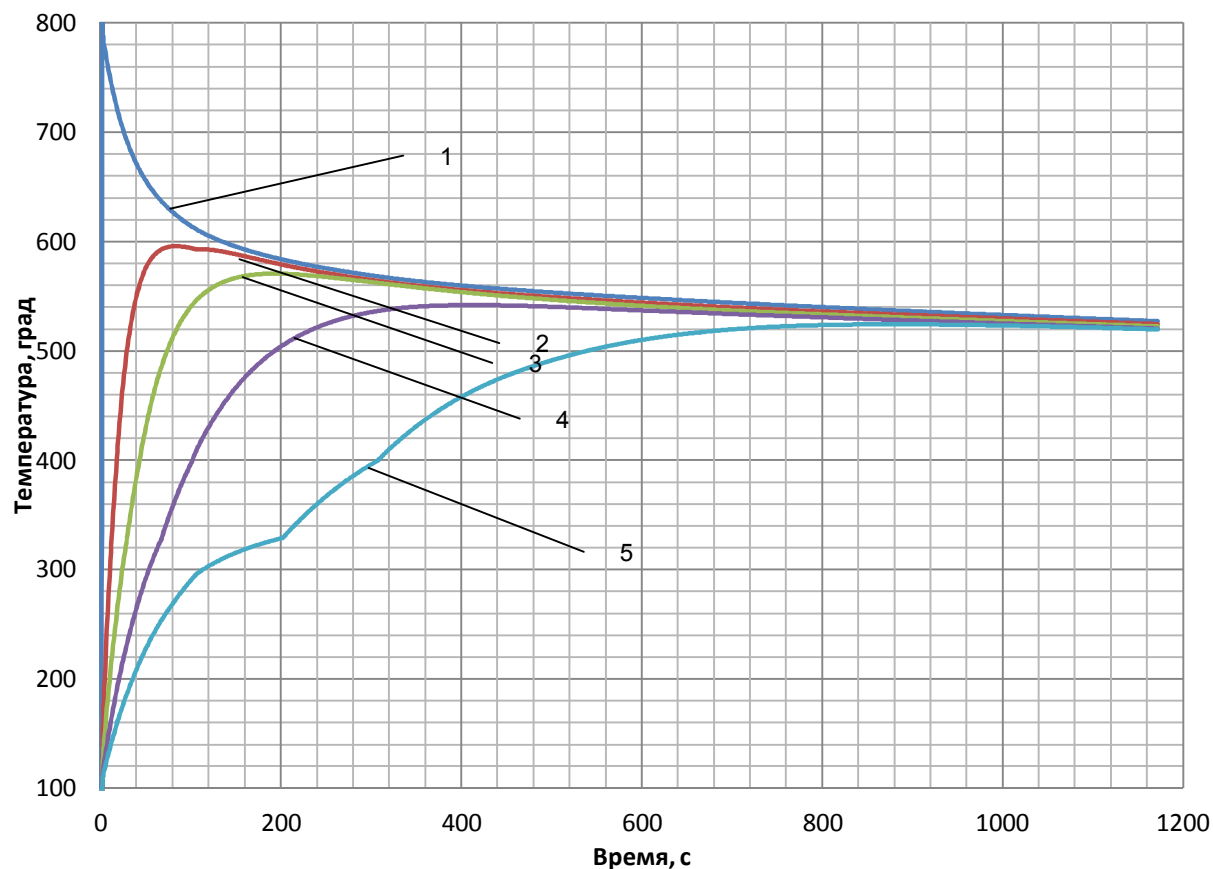


Рис. 1. Прогрев полифракционных сланцевых частиц с учетом эндотермического эффекта: 1 – зольные частицы (d=5 мм); 2 – частиц сланца, (d=4 мм); 3 – d=7 мм; 4 – d=11 мм; 5 – d=15 мм

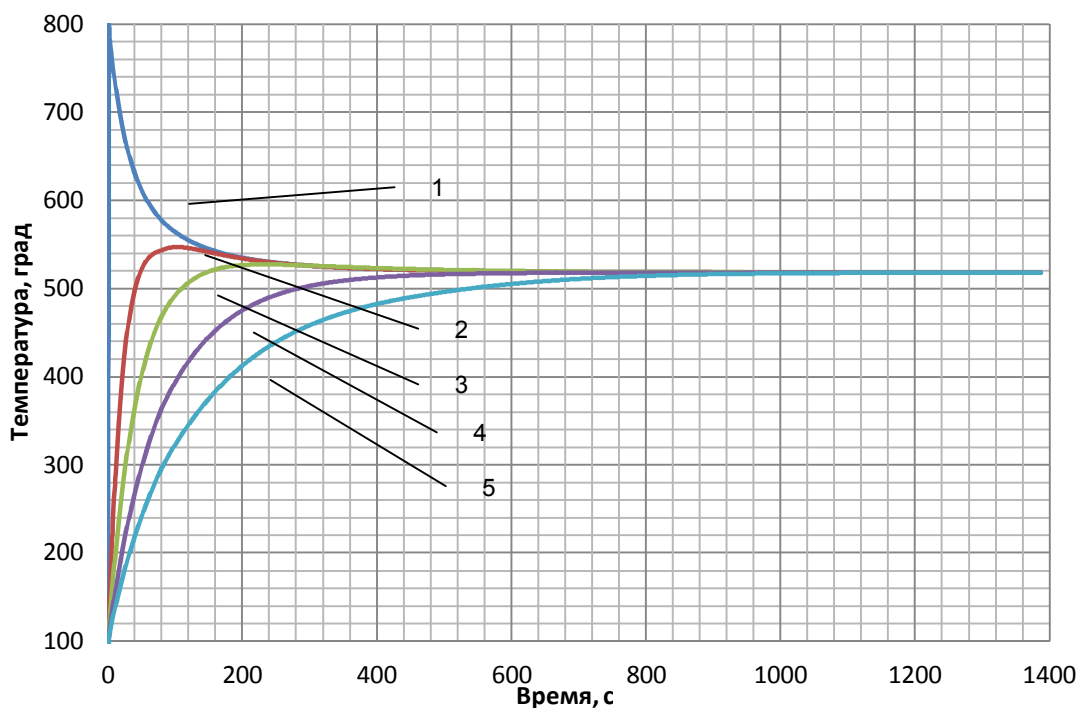


Рис. 2. Прогрев полифракционных сланцевых частиц без учета эндотермического эффекта: 1 – зольные частицы (d=5 мм); 2 – частиц сланца, d=4 мм; 3 – d=7 мм; 4 – d=11 мм; 5 – d=15 мм

ЛИТЕРАТУРА

1. Симонов В.Ф. Кинетическое описание процесса полукоксования сернистых сланцев на основе экспериментальных исследований / В.Ф. Симонов, В.Г. Прелатов, А.А. Селиванов // Проблемы энерго- и ресурсосбережения: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2010. С. 132-139.
2. Энерготехнологическая переработка топлив твердым теплоносителем / А.И. Блохин, Г.П. Стельмах, М.И. Зарецкий, Г.Б. Фрайман. М.: Светлый СТАН, 2005. 336 с.
3. Определение основных технологических параметров термической переработки сланца Перелюб – Благодатовского месторождения на стендовой установке с твердым теплоносителем (УТТ) / Е.И. Казаков, В.И. Мамай, В.А. Мишанин и др. // Исследования в области комплексного энерготехнологического использования топлива: межвуз. науч. сб. Саратов: СПИ, 1982. С. 101-105.

Симонов Вениамин Федорович –
доктор технических наук, профессор кафедры
«Промышленная теплотехника»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Veniamin F. Simonov –
Dr. Sc., Professor
Department of Industrial Heat Engineering
Gagarin Saratov State Technical University

Селиванов Алексей Александрович –
аспирант, ассистент кафедры «Промышленная
теплотехника» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksey A. Selivanov –
Postgraduate, Assistant Lecturer
Department of Industrial Heat Engineering
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 12.05.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 519.876.2

А.А. Склемин, В.А. Кушников, А.Ф. Резчиков

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПРОВЕРКИ ВЫПОЛНИМОСТИ ПЛАНОВ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

*Предложена модель для оптимизации принятия решения при оперативном
управлении машиностроительным предприятием*

A.A. Sklemin, V.A. Kushnikov, A.F. Rezchikov

MODELS AND ALGORITHMS FOR VERIFICATION OF THE RESPONSE PLAN MANAGEMENT AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

*In this paper we propose a model to optimize the decision-making process used
for operational management at a machine-building enterprise.*

Введение

Успешное функционирование современного промышленного предприятия невозможно обеспечить без разработки, модификации, практической реализации и проверки исполнения большого количества планов, направленных на обеспечение конкурентоспособности и качества выпускаемой продукции, снижение ее себестоимости, улучшение условий труда и т.д. В настоящее время при составлении этих планов широко используются специализированные комплексы программ, основными функциями которых являются [1-4]:

- формирование плана-графика запуска-выпуска партий деталей, полуфабрикатов, готовых изделий на основании плана производства;
- формирование плана-графика закупки материалов и комплектующих;

– контроль выполнения планов сбыта, производства и снабжения и многие другие.

Несмотря на значительные функциональные возможности данного математического обеспечения, повышающего качество планировочных работ и освобождающего специалистов от недостаточно эффективного и монотонного труда, предварительная проверка выполнимости планов мероприятий, используемых при ликвидации сложных производственных ситуаций, по-прежнему является одной из основных обязанностей управленческого персонала и осуществляется, в основном, исходя из интуиции и опыта ЛПР.

Анализ публикаций, посвященных решению этой проблемы, показал, что в специальной литературе практически отсутствуют сведения о теоретических основах, моделях и алгоритмах функционирования данного класса систем [5-14].

Указанное обстоятельство обуславливает актуальность, научную новизну и практическую значимость исследований, посвященных разработке моделей, алгоритмов и комплексов программ, позволяющих формальными методами подтвердить или опровергнуть возможность выполнения подробно разработанного плана мероприятий, а также указать обстоятельства, препятствующие его успешной реализации в процессе ликвидации сложной производственной ситуации.

Постановка задачи

Ограничения и допущения. Допустим, что на промышленном предприятии возникла сложная

ситуация $w(x, u) \in \left\{ W(x, u) \right\}$, в результате которой производственный процесс перешел в

состояние $s_0(x, u) \in \left\{ S(x, u) \right\}$, и предприятию был причинен существенный ущерб ($\left\{ S(x, u) \right\}$ –

множество допустимых состояний производственного процесса, $\left\{ W(x, u) \right\}$ – множество сложных

производственных ситуаций промышленного предприятия; векторы параметров среды $x \in \left\{ X \right\}$ и

управляющих воздействий $u \in \left\{ U \right\}$, соответственно; $\left\{ X \right\}$, $\left\{ U \right\}$ – множества допустимых

изменений векторов параметров среды и управляющих воздействий, соответственно). Примем также, что, по мнению управленческого персонала, переход производственного процесса в состояние

$s_k(x, u) \in \left\{ S(x, u) \right\}$ приведет к ликвидации возникшей сложной ситуации

$w(x, u) \in \left\{ W(x, u) \right\}$ и минимизации ущерба.

Допустим также, что для разрешения сложной производственной ситуации

$w(x, u) \in \left\{ W(x, u) \right\}$ был разработан план мероприятий $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$ по поэтапному пе-

реводу производственного процесса промышленного предприятия из состояния

$s_0(x, u) \in \left\{ S(x, u) \right\}$ в состояние $s_k(x, u) \in \left\{ S(x, u) \right\}$, характеризующее окончание сложной

производственной ситуации ($\left\{ P(x, u) \right\}$ – множество допустимых планов мероприятий). В дальней-

шем будем считать, что план $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$ состоит из конечного набора мероприятий $\{M_1, M_2, \dots, M_n\}$, каждое из которых осуществляет перевод объекта управления из состояния $s_i(x, u) \in \left\{ S(x, u) \right\}$ в состояние $s_{i+1}(x, u) \in \left\{ S(x, u) \right\}$, $i = \overline{0, k-1}$. На выполнение каждого из мероприятий $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ влияют условия $B_i(x, u), i = \overline{1, g}$, вытекающие из особенностей функционирования объекта и системы управления, а также зависящие от состояния окружающей среды. Данные условия, а также их влияние на выполнение мероприятий $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ в общем случае могут быть формализованы с помощью следующих продукций:

$$\begin{aligned} \text{ЕСЛИ} \quad \text{ВЫПОЛНЯЕТСЯ} \quad < B_1(x, u) R_1 B_2(x, u) R_2 \dots R_{k-1} B_k(x, u) >, \quad \text{ТО} \\ < \text{МЕРОПРИЯТИЕ } M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\} \text{ БУДЕТ ВЫПОЛНЕНО/ НЕ ВЫПОЛНЕНО} > \\ R_i \in \{ AND, OR, NOT, AND - NOT, OR - NOT \}, i = \overline{1, k-1} \end{aligned} \quad (1)$$

($\{ AND, OR, NOT, AND - NOT, OR - NOT \}$ – множество логических операций И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, соответственно).

Будем считать, что мероприятие $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ является выполнимым, если:

1. исполнены все предшествующие ему мероприятия $M_j \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$;
2. выполнены влияющие на мероприятие $M_j \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ правила $B_i(x, u), i = \overline{1, g}$,

заданные выражением (1).

При нарушении хотя бы одного из данных условий мероприятие $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ является невыполнимым.

План мероприятий $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$ будет выполнимым, если все его мероприятия

выполнимы, и невыполнимым, если он содержит хотя бы одно невыполнимое мероприятие.

С учетом приведенных выше определений и допущений формализованная постановка решаемой задачи имеет следующую формулировку.

Постановка задачи. Для системы управления производственными процессами промышленного предприятия разработать математические модели и алгоритмы, позволяющие в режиме реального времени формальным способом подтвердить или опровергнуть выполнимость плана мероприятий P

$(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$, используемого для разрешения сложной производственной ситуации

$w(x, u) \in \left\{ W(X, U) \right\}$, и установить причины, препятствующие его выполнению.

Общий подход к решению задачи

Для решения поставленной задачи нами был разработан эвристический подход, основанный на представлении плана мероприятий в виде схемы цифрового устройства D_{MA} , построенного на основе конъюнкторов, дизъюнкторов и инверторов, единичный сигнал на выходе которого означал бы выполнение плана мероприятий, а нулевой – его невыполнение.

Каждому мероприятию проверяемого плана в соответствие ставится система продукций $B_i(x, u), i = \overline{1, g}$ (1), непосредственно влияющих на его выполнение или невыполнение. Это позволяет формализовать знания ЛПР об особенностях производственного процесса, системы и объекта управления, без учета которых выполнение того или иного мероприятия в сложившихся условиях практически невозможно или может привести к получению незапланированного результата.

При анализе выполнимости планов мероприятий традиционным способом, т.е. без использования разрабатываемого математического обеспечения, знанием данных правил в основном обладают высококвалифицированные эксперты, привлекаемые ЛПР для разработки плана $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$.

Входам цифрового устройства D_{MA} во взаимно однозначное соответствие ставится или мероприятие проверяемого плана $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$, или продукции (1). При выполнении каждого конкретного мероприятия или условия на соответствующий вход D_{MA} подается единичный сигнал, а при невыполнении – нулевой.

ЛПР, формируя на входах цифрового устройства D_{MA} двоичные сигналы, соответствующие выполнению или не выполнению условий $B_i(x, u), i = \overline{1, g}$ и мероприятий $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$, по значению выходного сигнала может оперативно подтвердить выполнимость плана $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$ и определить причины его невыполнения.

Использование данного подхода позволяет уменьшить затраты на привлечение дорогостоящих экспертов, дает возможность накапливать, проверять на непротиворечивость, редактировать, агрегировать знания различных специалистов, полученные в течение длительного промежутка времени, оперативно использовать данную информацию при возникновении сложных производственных ситуаций и значительно повысить качество выполнения планировочных работ.

Математические модели

Для решения поставленной задачи было разработано оригинальное математическое обеспечение, состоящее из комплекса фреймовых, графовых, логических, продукционных и реляционных моделей, характеризующих стереотипные производственные ситуации и планы мероприятий по их разрешению.

Фреймовая модель сложной производственной ситуации. В современной теории управления фреймы относятся к универсальным, широко распространенным моделям представления знаний, интуитивно понятным ЛПР и получившим значительное распространение при описании различных ситуаций, ролей, сценариев и структур данных. Основным преимуществом этих моделей является достаточно точное отражение концептуальной основы организации человеческой памяти [5-10], позволяющее разработать эффективные алгоритмы формирования новых знаний.

Для решения поставленной задачи разрабатываемая фреймовая модель представления знаний должна содержать всю необходимую информацию, позволяющую ЛПР получить достаточно полное представление о возникшей сложной производственной ситуации $w(x, u) \in \left\{ W(X, U) \right\}$ и разработать план мероприятий $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$ по ее ликвидации.

Для того, чтобы удовлетворить этим условиям, в разрабатываемом математическом обеспечении сложную производственную ситуацию характеризует сеть из 7 фреймов: *Frame 1* – «ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СИТУАЦИЯ», *Frame 2* – «ФУНКЦИИ ОБЪЕКТА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ», *Frame 3* – «ПОДСИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ», *Frame 4* – «ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ

ПРЕДПРИЯТИЯ», *Frame 5* – «ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ», *Frame 6* – «ПЛАНЫ МЕРОПРИЯТИЙ», *Frame 7* – «ДАННЫЕ И ДОКУМЕНТЫ». Указанные фреймы являются вершинами графа $u_i \in G(u, e), i = \overline{1,7}$, объединенными поименованными дугами $e_i \in G(u, e), i = \overline{1,9}$, которые соответствуют следующим отношениям: e_1 – «возникает»; e_2 – «состоит из»; e_3 – «определяют»; e_4 – «нарушает»; e_5 – «разрешается»; e_6 – «восстанавливает»; e_7 – «выполняются»; e_8 – «используют»; e_9 – «характеризуют».

Графовая и продукционная модели представления знаний о выполнимости планов мероприятий, используемых при разрешении сложных производственных ситуаций. Для планов мероприятий, используемых при разрешении сложных производственных ситуаций $w(x, u) \in \left\{ W(X, U) \right\}$, была

построена продукционная модель, позволяющая формальными методами проанализировать выполнимость:

ПЛАН $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$ БУДЕТ ВЫПОЛНЕН, ЕСЛИ (ВЫПОЛНЕНО МЕРОПРИЯТИЯ,

СООТВЕТСТВУЮЩИЕ КОРНЕВОЙ ВЕРШИНЕ $G_M(V, E, Q)$ AND (ВЫПОЛНЕНЫ МЕРОПРИЯТИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ВЕРШИНАМ ГРАФА $V_i \in G_M(V, E, Q), i = \overline{1, f}$, СОЕДИНЕННЫМ ДУГАМИ С КОРНЕВОЙ ВЕРШИНОЙ) AND (ВЫПОЛНЕНЫ ПРАВИЛО U_0 , СООТВЕТСТВУЮЩЕЕ МЕРОПРИЯТИЮ КОРНЕВОЙ ВЕРШИНЫ $d^-(V_0) = 0$).

МЕРОПРИЯТИЕ $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$ БУДЕТ ВЫПОЛНЕНО, ЕСЛИ (ВЫПОЛНЕНЫ МЕРОПРИЯТИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ВЕРШИНЕ $V_i \in G_M(V, E, Q), i = \overline{1, n}$) AND (ВЫПОЛНЕНЫ МЕРОПРИЯТИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ВЕРШИНАМ ГРАФА $G_M(V, E, Q)$, СОЕДИНЕННЫМ ДУГАМИ С ВЕРШИНОЙ $V_i \in G_M(V, E, Q), i = \overline{1, n}$), AND (ВЫПОЛНЕНЫ ПРАВИЛА $U_i, i = \overline{1, k_1}$, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЮ $M_i \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$)

ПРАВИЛО $j, j = \overline{1, l = d}$. ЕСЛИ ВЫПОЛНЯЕТСЯ <

$B_{j1}(x, u) R_{j1} B_{j2}(x, u) R_{j2} \dots R_{jk-1} B_{jk}(x, u) >$, ТО МЕРОПРИЯТИЕ $\langle M_S \in \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$

БУДЕТ ВЫПОЛНЕНО/ НЕ ВЫПОЛНЕНО > $R_{zi} \in \{AND, OR, NOT, AND - NOT, OR - NOT\}, i = \overline{1, k-1}$;

$z = \overline{1, j}$ (z, m, n, S, k, f – известные константы; $d^-(V_0)$ – полустепень захода вершины

$V_i \in G_M(V, E, Q), i = \overline{1, n}$; $G_M(V, E, Q)$ – граф плана мероприятий; V, E, Q – вершины, дуги и веса дуг графа $G_M(V, E, Q)$, соответственно; d – количество правил).

Алгоритм решения

Формирование индикатора выполнимости планов мероприятий и анализ его основных математических свойств. Данная функция характеризует отношение количества выполненных мероприятий и правил, влияющих на их исполнение, к общему числу мероприятий и соответствующих правил

плана $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$.

Определение 1. Введем дополнительные переменные C_1 и C_2 :

$$C_1 = \det \sum_{j=1}^{g_1} B_j(x, u) + \sum_{j=1}^{n_1} M_j(x, u); \quad (2)$$

$$C = \sum_{i=1}^g B_i(x, u) + \sum_{i=1}^n M_i(x, u) \quad (3)$$

Функция $f_{ind}(C, C_1) = C_1 / C$, осуществляющая отображение $(C, C_1) \rightarrow \text{Re}$ и обладающая свойствами:

1. непрерывности и монотонности по C и C_1 ;
2. $f_{ind}(C, C) = k_{\max}$, $f_{ind}(C_1, C_1) = k_{\min}$, (k_{\max} и k_{\min} – константы, ограничивающие область изменения функции $f_{ind}(C, C_1)$);

$$3. k_{\max} > k_{\min} \text{ называется индикатором выполнимости плана мероприятий } P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$$

, а величина $f_{ind}(C_A, C_B) = k_{A/B}$ – степень выполнения этого плана. (Re – множество вещественных чисел; $C_A, C_B, k_{A/B}$ – известные константы: C_A, C_B принадлежат области допустимых значений, а $k_{A/B}$ – области изменений функции $f_{ind}(C, C_1)$, соответственно).

Из приведенного выше определения индикатора $f_{ind}(C, C_1)$ следует, что эта функция имеет ясный физический смысл, измеряется в распространенной и информативной шкале отношений $[0;1]$, ее расчет в контурах системы оперативного управления производственным процессом не связан с проведением сложных вычислений.

Алгоритм оперативного анализа выполнимости планов мероприятий. Допустим, что для ликвидации сложной производственной ситуации управленческим персоналом предприятия был разрабо-

тан план мероприятий $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$, представленный в виде графа $G^*(U, E)$. Методика

перехода от $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$ к $G^*(U, E)$ подробно рассмотрена, например, в [12-14].

При известном графе $G^*(U, E)$ проверка выполнимости плана $P(x, u) \in \left\{ P(x, u) \right\}$ осуще-

ствляется по следующему алгоритму.

1. Начало работы.
2. На графе $G^*(U, E)$ определить вершину u^* с нулевой полустепенью захода $d^-(u^*) = 0$. На схеме плана мероприятий M эта вершина соответствует вершине M_1 – «План мероприятий выполнен».
3. На графе $G^*(U, E)$ определить все вершины $u_{m0}, u_{k0}, u_{h0}, \dots, u_{l0} \in U$, соединенные дугами с вершиной u^* .
4. В формируемую продукционную модель записать: ПЛАН M БУДЕТ ВЫПОЛНЕН, ЕСЛИ ВЫПОЛНЕНА МЕРОПРИЯТИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ВЕРШИНАМ ГРАФА u_{m0} AND u_{k0} AND u_{h0} AND ... AND u_{l0}
5. Для вершины u_{m0} , определить все вершины $u_{m1}, u_{k1}, u_{h1}, \dots, u_{l1}$, соединенные дугами с вершиной u_{m0} .
6. В формируемую продукционную модель записать: МЕРОПРИЯТИЕ u_{m0} БУДЕТ ВЫПОЛНЕНО, ЕСЛИ ВЫПОЛНЕНА МЕРОПРИЯТИЯ, СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ВЕРШИНАМ ГРАФА u_{m1} AND u_{k1} AND u_{h1} AND ... AND u_{l1}

7. Продолжить формирование продукционной модели до тех пор, пока не будут достигнуты конечные вершины графа $G^*(U, E)$, т.е. вершины, с нулевой полустепенью исхода $d^+(u_k) = 0$.

8. По известным правилам математической логики, сформированной системе продукций поставить в соответствие логическую функцию $f(u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{vk})$, принимающую следующие значения:

$$f(u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{vk}) = \begin{cases} 1, & \text{если план выполнен} \\ 0, & \text{если план не выполнен} \end{cases} \quad (4)$$

($u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{vk}$ – конечные вершины графа $G^*(U, E)$).

9. Построить схему цифрового дискретного устройства D_{MA} , таблица истинности которого совпадает с таблицей состояний логической функции $f(u_{1k}, u_{2k}, \dots, u_{vk})$.

10. Сформировать функцию индикатора выполнимости планов мероприятий $f_{ind}(C, C_1)$.

11. Определить текущее значение индикатора $f_{ind}(C, C_1)$, подавая на входы цифрового дискретного устройства D_{MA} единичные и нулевые сигналы, соответствующие выполненным или невыполненным мероприятиям $\{M_1, M_2, \dots, M_n\}, j = \overline{1, n_1}$ и условиям $B_j(x, u) \in \{B_i(x, u), i = \overline{1, g}\}$.

12. Если $f_{ind}(C, C_1) = 1$, то проверяемый план $P(x, u) \in \{P(x, u)\}$ при заданных

значениях входных переменных является выполнимым, при $f_{ind}(C, C_1) = 0$ необходимо осуществить его коррекцию.

13. Перемещаясь по цепочкам распространения нулевых сигналов в цифровом дискретном устройстве D_{MA} , установить причины невыполнения плана мероприятий и сообщить о них ЛПР.

14. Конец алгоритма.

Пример практического использования данного алгоритма при проверке выполнимости плана модернизации крупного машиностроительного предприятия рассмотрен в [14].

Заключение

Разработанное математическое обеспечение создает методологическую основу для информационной системы, осуществляющей оперативную проверку выполнимости планов мероприятий, и позволяет повысить эффективность планирования производственного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдицкий С.А. Операционно-объектно-ориентированная технология анализа сценариев при управлении проектами / С.А. Юдицкий // Автоматика и телемеханика. 2001. № 5. С. 171-182.
2. Фатрелл Р.Т. Управление программными проектами: достижение оптимального качества при минимуме затрат: пер. с англ. / Р.Т. Фатрелл, Д.Ф. Шафер, Л.И. Шафер. М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. 1136 с.
3. Система ERP Галактика. Решения для предприятий машиностроения и приборостроения. <http://www.galaktika.ru>.
4. Смирнов Д. Внедрение системы управления проектами в рамках внедрения интегрированной системы управления предприятием / Д. Смирнов. <http://www.management.edu.ru>
5. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению I / С.Н. Васильев // Известия Академии наук. Теория и системы управления. 2001. № 1. С. 5-22.
6. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению II / С.Н. Васильев // Известия Академии наук. Теория и системы управления. 2001. № 2. С. 5-21.
7. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект. Стратегия и метод решения сложных проблем / Д.Ф. Люгер. 4-е изд. М.: Изд. Дом «Вильямс», 2003.
8. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. М.: Изд. Дом «Вильямс», 2001.

9. Искусственный интеллект. Применение в интегрированных производственных системах / под ред. Э. Кьюсиака. М.: Машиностроение, 1991. 541 с.
10. Искусственный интеллект: в 3 кн. Кн. 2. Модели и методы: справочник / под ред. Д.А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. 304 с.
11. Модели и алгоритмы постановки задач разработки АСУ промышленными объектами / А.Ф. Резчиков, В.А. Кушников, Е.И. Шлычков, О.М. Бойкова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. № 9. С. 64-68.
12. Пшеничников И.С. Модели и алгоритмы системы оперативного управления мостостроительной организацией / И.С. Пшеничников, В.А. Кушников, Е.И. Шлычков // Вестник СГТУ. №3 (15). Вып. 2. 2006. С. 72-78.
13. Анализ выполнимости планов мероприятий в системе автоматизированного управления мостостроительной организацией / И.С. Пшеничников, В.А. Кушников, Е.И. Шлычков, А.Ф. Резчиков // Мехатроника, автоматизация, управление. 2006. № 11. С. 45-49.
14. Анализ выполнимости планов мероприятий при оперативном управлении машиностроительным предприятием / Е.И. Шлычков, М.Ю. Похазников, В.А. Кушников, О.М. Калашникова // Вестник СГТУ. 2007. №1 (21). Вып. 1. С. 88-95.

Склемин Алексей Анатольевич –
аспирант кафедры «Системотехника»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Alexei A. Sklemin –
Postgraduate
Department of System Engineering
Gagarin Saratov State Technical University

Кушников Вадим Алексеевич –
доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник Института
проблем точной механики и управления РАН

Vadim A. Kushnikov –
Dr.Sc., Professor
Leading Research Fellow
Institute of High Precision Mechanics and Control Issues
Russian Academy of Sciences

Резчиков Александр Федорович –
доктор технических наук, профессор
Саратовского государственного технического
Университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander F. Rezchikov –
Dr. Sc., Professor
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 03.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

УДК 620.179.18

В.В. Вязовский, А.Г. Пшеничный

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ ВАКУУМНЫХ СВОЙСТВ ДИФФУЗИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Разработан метод активного контроля формирования термовакuumных характеристик диффузионных соединений и электровакуумных материалов за счет продувания через зону сварки потока газов из смеси гелия и водорода.

Диффузионная сварка, активный контроль, гелий, газопроницаемость, вакуум, масс-спектрометр, вакуумная плотность, водородопроницаемость, гелиевый течеискатель

V.V. Vyazovsky, A.G. Pschenichnyu

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF ACTIVE CONTROL OF VACUUM DIFFUSION PROPERTIES OF COMPOUNDS

Developed a method to actively control the formation of thermal vacuum diffusion characteristics of the compounds and electro-materials by blowing through the welding zone the flow of gases from a mixture of helium and hydrogen.

Diffusion welding, the active control, the helium gas permeability of the vacuum, the mass spectrometer, the vacuum density of the hydrogen, helium leak detector

Одним из важных условий надежности и долговечности электро-вакуумных приборов (ЭВП) является способность их вакуумных оболочек сохранять герметичность в процессе изготовления и эксплуатации.

Наблюдаемые на практике натекания через сквозные неплотности оболочках могут отличаться по скорости на несколько порядков от 10^{-10} до 10^{-20} м³/сек. Чувствительность существующих методов деталей и узлов ЭВП на вакуумную плотность составляет практически $133.3 \cdot (10^{-12} \div 10^{-13})$ Па·м³/с. Пользуясь такими методами удастся отбраковать значительную часть негерметичных узлов и оболочек. Однако это не гарантирует прибор от выхода из строя из-за натекания, проявляющегося при откачке, в период после откачки, герметизации или в эксплуатационных условиях. Допустимая величина натеканий современных ЭВП СВЧ, исходя из условий работоспособности в течение 10-12 лет не должна превышать $133.3 \cdot (10^{-20} \div 10^{-21})$ Па·м³/с. Поэтому одной из важных задач в области производства приборов является определение методов контроля вакуумной плотности с такой высокой производительностью.

Исходя из кинетической теории течения газа по узким каналам и современных требований по сохранению высокого вакуума в современных ЭВП, можно предсказать опасность того или иного проникающего дефекта и определить приблизительный гарантийный срок прибора:

$$t_{xp} = \frac{q_{нат}}{S_{нат}} \quad (1)$$

где $q_{нат}$ – критическое количество натекшего воздуха, Па·м³; $S_{нат}$ – скорость натекания, м³/с;

Наличие в оболочке даже непрерывной цепочки вакансий, соединяющей кратчайшим путем вакуумную полость прибора с атмосферой, опасно. А сквозная пора диаметром в несколько сотен Å может стать причиной натекания ЭВП средней мощности до $133,3 \cdot 10^{-4}$ Па всего за 10 суток.

Рассмотрим физическую природу возможных дефектов в зоне ДС металлов и сделаем попытку экспериментально оценить возможную величину дефектов в ней, а также рассмотрим кинетику их залечивания в зависимости от параметров процесса.

Теория дислокаций [2] рассматривает трещину как скопление особого рода краевых дислокаций («раскалывающих») с единичным вектором Бюргерса b , так что:

$$h = n \cdot b \quad (2)$$

где h – ширина трещины.

Оценку величины сквозных дефектов-каналов, можно выполнить с помощью уравнения Кнудсена в том виде, в каком оно предложено в [4]:

$$Q = \frac{1}{L} \int_{P_2}^{P_1} \left(aP + b \frac{1+cP}{1+fP} \right) dP, \quad (3)$$

$$a = \frac{\pi d}{128\eta}; \quad b = \frac{1}{6} \left(\frac{2\pi kT}{m} \right) d^3; \quad c = \left(\frac{m}{kT} \right)^{\frac{1}{2}} d; \quad f = 1,24 \left(\frac{m}{kT} \right)^{\frac{1}{2}};$$

где d – диаметр отверстия, м; P – давление, Па; k – постоянная Больцмана; η – вязкость газа; T – температура газа, $^{\circ}\text{K}$; L – длина капилляра, м; Q – поток, $\text{Па}\cdot\text{м}^3/\text{с}$; m – молекулярный вес газа.

Анализ кинетики процесса формирования ДС металлов показывает, что варьируя основными параметрами процесса сварки можно получать соединения интересующих нас материалов с набором дефектов, отвечающих вакуумной плотности в широком диапазоне натеканий от самых вязкостных течей до минимально возможной для данного материала вакуумной плотности.

Так, вязкостный поток, рассчитываемый по формуле Пуазейля, медленно падает с ростом температуры, так как вязкость газов растёт с повышением температуры пропорционально.

$$Q = \frac{\pi \cdot a^4}{8 \cdot \eta \cdot \ell} \cdot P^2 \quad (4)$$

где a – радиус канала, ℓ – длина канала, η – вязкость пробного газа, а P – давление пробного газа.

Молекулярный поток через сквозной канал площадью « A », определённый по выражению [5].

$$Q = P \cdot A \left(\frac{k \cdot T}{2 \cdot \pi \cdot M} \right)^{1/2}, \quad (5)$$

медленно растёт с температурой пропорционально $\sqrt{\frac{T}{M}}$, где M – массовое число для проникающего газа.

В качестве модельных материалов были выбраны наиболее типичные представители вакуумноплотных металлов медь МВ, сталь 3 и нержавеющая сталь Х18Н9Т – основные конструкционные металлические материалы, применяющиеся для изготовления оболочек ЭВП. Образцы изготавливались из одной партии металла.

Конструктивные размеры образцов, представленных на рис.1, предусматривают возможность исследования их на газопроницаемость при повышенных температурах. Контактные поверхности обрабатывались по 7 классу шероховатости. Конструктивное отличие образцов из меди и сплавов 29НК и Х18Н9Т обусловлено особенностью канавочно-клинового уплотнения. На медных образцах роль прокладки играет нижняя галтель.

Дефекты контактной зоны, их «залечивание» в процессе сварки и вакуумные свойства соединений изучались двумя способами. В первом случае вначале получали набор дефектов в соединениях указанных материалов путем изготовления нескольких групп образцов при изменяющейся величине удельного давления (табл. 1).

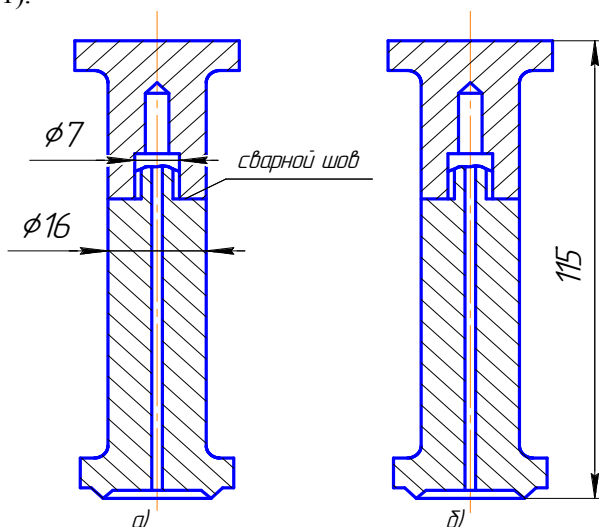


Рис. 1. Экспериментальные образцы

Таблица 1

Влияние режимов диффузионной сварки на вакуумную плотность и газопроницаемость соединений

Соединяемые материалы	Номера групп образцов	Параметры режима			Вакуумная плотность по гелию, Па·м ³ /с	Проницаемость по водороду при 500°С, $\frac{H \cdot m^3}{Pa \cdot сек}$
		P, МПа	T, °С	t _{мин.}		
медь МВ + медь МВ	1	2	850	15	133,3·10 ⁻⁹	не проверялась
	2	3	/-/	/-/	133,3·10 ⁻⁹	/-/
	3	4	/-/	/-/	666,5·10 ⁻¹²	/-/
	4	5	/-/	/-/	266,6·10 ⁻¹²	/-/
	5	6	/-/	/-/	399,9·10 ⁻¹³	/-/
	6	7	/-/	/-/	133,3·10 ⁻¹⁴	/-/
	7	8	/-/	/-/	вакуумнопл.	2·10 ⁻⁷
	8	9	/-/	/-/	/-/	6·10 ⁻⁹
	9	10	/-/	/-/	/-/	3·10 ⁻⁹
	10	12	/-/	/-/	/-/	5·10 ⁻⁹
сталь 29НК + сталь 29НК	1	4	1000	15	133,3·10 ⁻⁹	не проверялась
	2	8	/-/	/-/	666,5·10 ⁻¹²	/-/
	3	10	/-/	/-/	799,8·10 ⁻¹³	/-/
	4	12	/-/	/-/	266,6·10 ⁻¹³	/-/
	5	16	/-/	/-/	вакуумнопл.	8·10 ⁻⁷
	6	20	/-/	/-/	/-/	3·10 ⁻⁷
	7	24	/-/	/-/	/-/	2·10 ⁻⁷
сталь Х18Н9Т + сталь Х18Н9Т	1	04	1000	15	133,3·10 ⁻⁹	не проверялась
	2	08	/-/	/-/	399,9·10 ⁻¹²	/-/
	3	10	/-/	/-/	666,5·10 ⁻¹³	/-/
	4	12	/-/	/-/	1066,4·10 ⁻¹⁴	/-/
	5	16	/-/	/-/	вакуумнопл.	3·10 ⁻⁷
	6	20	/-/	/-/	/-/	8·10 ⁻⁸
	7	24	/-/	/-/	/-/	8·10 ⁻⁸

Сварку образцов проводили на установке диффузионной сварки типа УДС-2 с индукционным нагревом [6]. Затем контролировали вакуумную плотность и газопроницаемость каждой группы образцов и изучали их температурную зависимость.

При втором способе изучения формирования вакуумных свойств соединений металлов первоначально изготавливали партию образцов в сварочном режиме, который гарантировал взаимное соединение обеих частей каждого образца с некоторой начальной прочностью, но не обеспечивал их вакуумную плотность по гелию. Затем эти образцы «доваривали» путем постепенного увеличения давления на специальной приставке к масс-спектрометру МХ-1302 [1]. В совокупности приставка с масс-спектрометром составляет установку, позволяющую изучать проникновение пробного газа через образец в диапазоне температур от 20 до 1000°С с одновременным приложением к образцу сжимающих или растягивающих усилий (рис. 2).

Вакуумная плотность образцов контролировалась первоначально с помощью гелиевого течеискателя ПТИ-7 с чувствительностью 5·10⁻¹⁷ м³/с. В дальнейшем изучали газопроницаемость всех групп образцов при изменении температуры нагрева от 20 до 700°С.

В качестве измерителя потока пробного газа через образцы с различной величиной дефектности применялся масс-спектрометр типа МХ-1302.

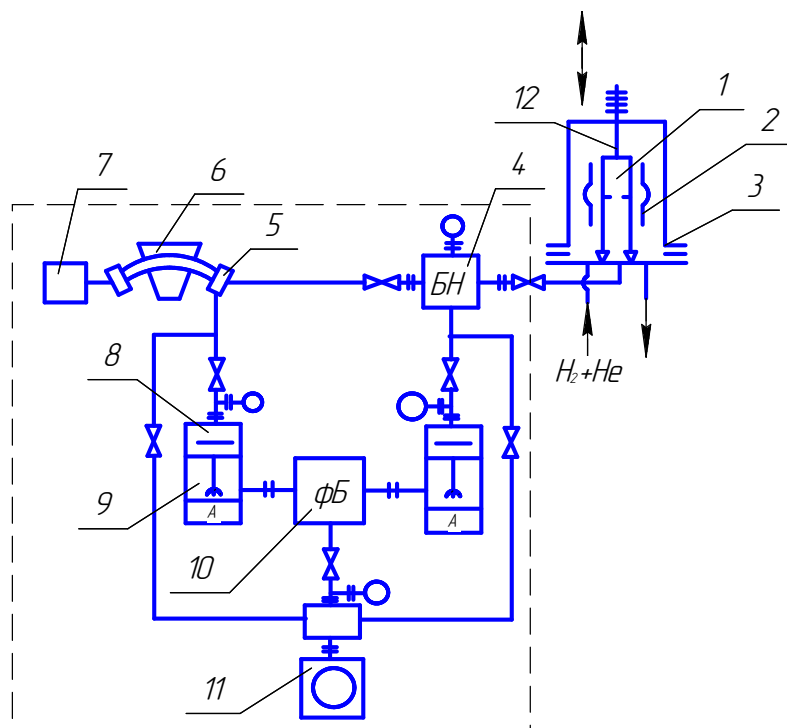


Рис. 2. Схема установки для исследования вакуумной плотности и газонепроницаемости соединений и материалов: 1 – исследуемый образец, 2 – нагреватель, 3 – экспериментальная камера, 4 – накопительный баллон масс-спектрометра МХ-1302, 5 – источник ионов, 6 – камера анализатора, 7 – самоочищающийся потенциометр, 8 – азотная ловушка, 9 – ртутный насос, 10 – уравнильный баллон, 11 – форвакуумный насос, 12 – механизм сварки – растяжения

$$\alpha_m = \frac{Q_m}{J_m^+}, \quad \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{сек} \cdot \text{м}} \quad (6)$$

где J_m^+ – ионный ток, соответствующий масс-спектральной линии m -го газа при потоке Q_m ; Q_m – поток, создаваемый газом « m » в масс-спектрометре и определяемый по формуле Кнудсена [3]:

$$Q_m = 3,64 \cdot S \cdot P \cdot \sqrt{\frac{T}{M'}} \cdot \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{сек}} \quad (7)$$

где S – площадь отверстия пропускной диафрагмы, м^2 ; T – абсолютная температура, $^{\circ}\text{К}$; M – молекулярный вес газа; P – давление в системе напуска, Па .

Чувствительность течеискателя к перепускаемому гелию находится с помощью гелиевой течи и определяется отношением сигнала к количеству накопленного газа

$$K_q = \frac{\Delta\alpha}{\Delta q} \quad (8)$$

и составляет $3 \cdot 10^7 \text{Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$.

При определении паразитного натекания или во время проверки герметичности образцов необходимо поделить полученный сигнал на K_q и время накопления t_n

$$Q = \frac{\Delta\alpha}{K_q \cdot t_n} \quad (9)$$

Оптимальное время накопления должно составить:

$$t_n = \frac{\Delta q_{\min}}{2 \cdot \delta \cdot Q_{\phi}} \quad (10)$$

где Δq_{\min} – минимальное количество гелия, поддающееся регистрации в данных условиях опыта, и равняется в нашем случае 2 часа.

Минимально регистрируемый поток, учитывая, что спектрометр уверенно регистрирует приращение сигнала 6 мв, составляет:

$$Q_{\min} = \frac{\Delta\alpha_{\min}}{2 \cdot \delta \cdot Q_{\phi}} \quad (11)$$

составляет $359,91 \cdot 10^{-20} \text{Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$. Уменьшение времени накопления при этом приведет к невозможности идентифицировать более тонкие натекания, а его увеличение целесообразно лишь одновременно со снижением Q_{ϕ} .

При исследовании водородопроницаемости металлов регистрируется обычно поток газа, проникающего через поверхность образца, подсчитать при этом площадь поперечного сечения ДС практически невозможно. Поэтому мы рассчитывали газопроницаемость зоны соединения условно на единицу длины.

Для расчетов предложено следующее выражение:

$$q = \alpha_m \cdot \frac{n \cdot l}{L} \cdot \frac{H \cdot M^3}{\text{Па} \cdot \text{сек}} \quad (12)$$

где L – длина шва по периметру, м; l – глубина шва, м.

Таким образом, проницаемость диффузионного соединения определяются как количество водорода, проникающее на 10^{-2} м длины шва к его глубине в 10^{-3} м за 1 сек при давлении водорода с наружной стороны образца в $9,8 \cdot 10^4$ Па.

Анализ экспериментальных данных, представленных на рис. 3, показывает, что минимальные сквозные потоки гелия и водорода через образцы во всех экспериментах имеют величины не менее $1 \cdot 10^{-5}$ Па·м³/с для исследуемых соединений при изменении сварочного давления во всем исследуемом диапазоне. Сквозные потоки величиной порядка 10^{-7} - 10^{-8} Па·м³/с в экспериментах не обнаружены.

Исследование температурной зависимости величины потока этих газов через сварные образцы со сквозными дефектами показывают, что минимально зарегистрированные потоки имеют вязкостный характер.

Результаты экспериментов (табл. 1, рис. 4) показывают, что изменение сварочного давления от 4 до 18 МПа для меди МВи от 4 до 24 МПа для нержавеющей стали и меди МВ + сталь Э (при соответствующих остальных параметрах) уменьшает поток гелия через сквозные дефекты от 1 до $1 \cdot 10^{-5}$ Па·м³/с и водородопроницаемость соединений (при 500°C) от 10^{-6} до 10^{-9} Па·м³/с.

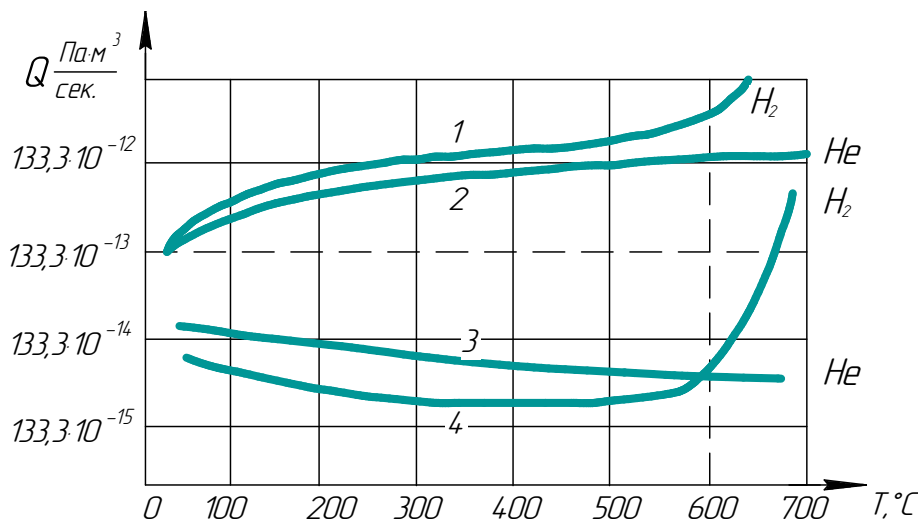


Рис. 3. Температурная зависимость потоков H₁ и H₂ через сварные соединения (29НК+29НК)

Водородопроницаемость соединений стабилизируется на постоянном уровне при определенных для каждого металла параметрах процесса. Именно при этих параметрах заканчивается формирование соединений и их вакуумные свойства становятся идентичными свойствам исходного материала.

Проницаемость водорода через металлы осуществляется в пять последовательных этапов: адсорбция молекул на поверхности, диссоциация их на атомы, диффузия атомов через кристаллическую решетку, ассоциация молекул на внутренней поверхности образца и их десорбция. Поэтому любое воздействие, повышающее энергию активации каждого из этих пяти процессов или «тормозящие» их течение будет уменьшать водородопроницаемость металлов.

Пластическая деформация металлов в подавляющем большинстве случаев протекает по дислокационному механизму за счет движения дислокаций. Когда кристалл деформируется, плотность дислокаций в нем быстро возрастает с увеличением степени деформации. Новые дислокации вносят вклад в упрочнение кристалла и должны оказывать влияние на газопроницаемость металла. Атомы газа, диффундирующее через металл будут интенсивно «оседать» на дислокациях, уменьшая в итоге общий поток газа через образец, подвергнутый термовакуумной обработке.

Отметим, что при циклическом деформировании металлов в вакууме их долговечность выше, чем на воздухе. А исследованиями Н.Ф. Казакова [1] установлено, что при воздействии на металлы параметров ДС происходит увеличение прочности при статическом нагружении. В моей работе ис-

следовалось влияние воздействия параметров процесса ДС на удельную плотность и газопроницаемость меди МВ, ковара и стали X18H9T. Удельная плотность после термовакуумного воздействия проверялась на дисковых образцах диаметром 16 мм и высотой 2 мм и измерялась с помощью гидростатического взвешивания. Обработка металлов проводилась по режимам, обеспечивающим получение равнопрочных соединений в вакууме порядка $666,5 \cdot 10^{-5}$ Па. Результаты исследований приведенные в табл. 2, показывают, что удельная плотность возрастает для ковара на 5%, нержавеющей стали на 3% и молибдена на 1% при незначительной деформации. Увеличение плотности медных образцов практически не обнаружено. На рис. 5 показана зависимость водородопроницаемости от температуры для монолитных образцов из меди, ковара и нержавеющей стали, подвергнутых воздействию параметров, указанных в табл. 2. и контрольных параметрах, не обработанных.

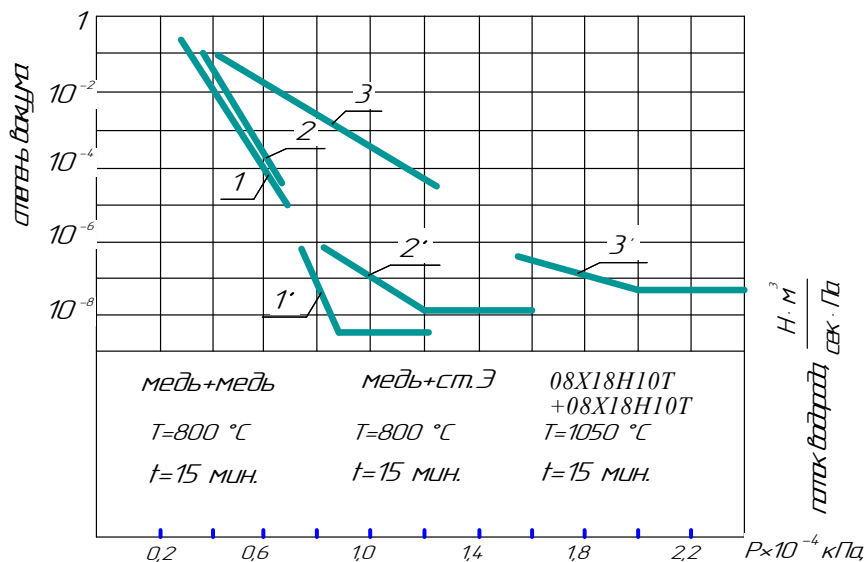


Рис. 4. Зависимость вакуумной плотности (по гелию) и газопроницаемости (по водороду при 500 °С) от удельного давления для диффузионных соединений медь МВ + медь МВ – 1,1; медь МВ + сталь Э – 2,2; сталь X18H9T – 3,3

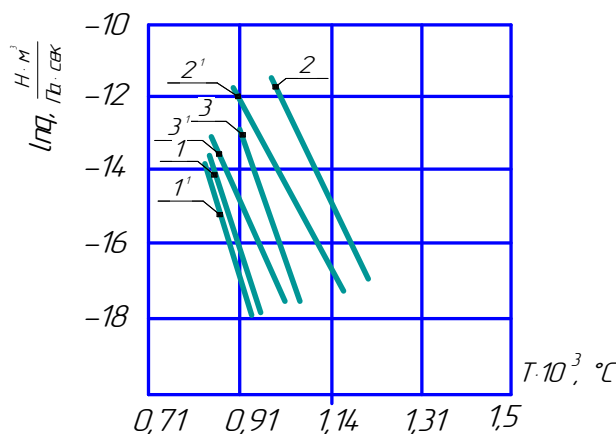


Рис. 5. Зависимость водородопроницаемости монолитных образцов из меди МВ (1, 1'), сплава 29НК и стали X18H9T (3, 3). 1 – 3 – обработанных по режиму ДС

Таблица 2

Изменение удельной плотности металлов в результате термовакуумной обработки

Материал	Режим обработки химическая обработка				Деформация, %	Относительное изменение плотности, %
	P, МПа	T, °C	t, мин	V, Па		
Медь МВ	–	850	20	$666,5 \cdot 10^{-5}$	–	–
	7	850	20	$666,5 \cdot 10^{-5}$	–	–
Сплав 29НК	–	1050	30	$666,5 \cdot 10^{-5}$	–	–
	25	1050	20	$666,5 \cdot 10^{-5}$	1	5
Сталь X18H9T	–	1050	30	$666,5 \cdot 10^{-5}$	–	–
	25	1050	2	$666,5 \cdot 10^{-5}$	1,2	3
Молибден М4ВП	–	1100	30	$666,5 \cdot 10^{-5}$	–	–
	25	1100	20	$666,5 \cdot 10^{-5}$	1,5	1

Анализ приведенных данных показывает, что водородопроницаемость медных образцов практически не изменяется, а для образцов из ковара и нержавеющей стали уменьшается во всем интервале температур на 1-1,5 порядка.

Полученные данные свидетельствуют о том, что исходные образцы ковара и стали имеют более высокую пористость, чем медь МВ и более интенсивно подвергаются залечиванию.

Таким образом, и в основном материале при действии сжимающей нагрузки в условиях вакуума и повышенных температур происходит залечивание пор, приводящее к уменьшению водородопроницаемости металлов. В результате проведенной работы можно сделать ряд выводов:

1. Теоретическим и экспериментальным путем показано, что в соединениях металлов не могут существовать сквозные дефекты с линейным размером по диаметру менее $1 \cdot 10^{-6}$ м, а потоки газов – менее $133,3 \cdot 10^{-14}$ Па·м³/с.

2. Разработан метод активного контроля формирования термовакuumных характеристик диффузионных соединений и электровакuumных материалов за счет продувания через зону сварки потока газов из смеси гелия и водорода. Прекращение потока гелия свидетельствует о начальном моменте возникновения вакуумной плотности (закрытии сквозных каналов) и формировании полного фактического контакта, а стабилизация потока водорода – о моменте завершения формирования термовакuumных характеристик соединения и диффузионного взаимодействия.

3. С применением методов математического планирования экспериментов выявлены соотношения параметров ДС, которые обеспечивают в их широком интервале получение гарантированно вакуумноплотных термостойких соединений многих, применяемых в электронике материалов.

Получены регрессионные модели, позволяющие для соединений медь МВ + медь МВ, медь МВ+ сталь Э, медь МВ+ сталь Х18Н9Т, рассчитывать соотношение параметров процесса, обеспечивающих наперед заданную прочность соединений при контролируемом уровне деформации и гарантированной вакуумной плотности.

4. При обработке металлов по режимам ДС наблюдается уменьшаемое их водородопроницаемости на 1-2 порядка в диапазоне 200–700°С вызываемое адсорбцией водорода на возникающих, при пластическом деформировании, микродефектах структуры и уменьшением степени дислокации его молекул на поверхностях деталей после обработки в установках с «масляными» средствами откачки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Масс-спектрометрическое исследование газопроницаемости диффузионных, паяных и аргонодуговых соединений / Н.Ф. Казаков, Г.В. Конюшков, Б.А. Маренко, Г.А. Рудин // Обмен опытом в электронной промышленности. 1969. № 4. С. 89-93.

2. Ж. Фридель Дислокации / Ж. Фридель. М.: Изд-во «Мир», 1967. 627 с.

3. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники / С. Дэшман. М.: Мир, 1964. 715 с.

4. Гутри А. Вакуумное оборудование и вакуумная техника / А. Гутри, Р. Уокерхин. М.: Иностран. лит., 1951.

5. Левин Г. Основы вакуумной техники. М.: Энергия, 1969. 273 с.

6. Теория технология и оборудования диффузионной сварки / В.А. Бачин, В.Ф. Квасницкий, Д.И. Котельников и др. М.: Машиностроение, 1991. 352с.

7. Вакуумная техника: справочник / Е.С. Фролов и др. М.: Машиностроение, 1985. 360 с.

Вязовский Валерий Владимирович – аспирант кафедры «Электронное машиностроение и сварка» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Valery V. Vyazovsky – Postgraduate of the Department Electronic Engineering and Welding Gagarin Saratov State Technical University

Пшеничный Антон Геннадьевич – аспирант кафедры «Электронное машиностроение и сварка» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Anton G. Pschenichny – Postgraduate of the Department Electronic Engineering and Welding Gagarin Saratov State Technical University

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.82

Д.А. Андреев, М.В. Воронов

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ

Проводится краткий анализ подходов к определению онтологии действий как категории формализованного представления процессуальных знаний. Определяется понятийная структура концепта технологического действия. Предлагается модель онтологии структурного описания технологий. Описывается обобщённая методика проектирования онтологического представления технологических знаний. Обсуждаются перспективы дальнейшего применения разработанного метода.

Онтология, концепт, отношение, технологическое действие

D.A. Andreev, M.V. Voronov

A METHOD FOR DESIGNING THE ONTOLOGY OF TECHNOLOGICAL ACTIONS

The author presents an overview of approaches toward defining the ontology of actions as a category for a formalized representation of procedural knowledge. The structure of the concept «technological action» is defined. The model for the ontology of structural description of technologies is offered. A generalized technique for designing the ontological representation of technological knowledge is described. Prospects for the further application of the developed method are discussed.

Ontology, concept, relation, technological action

1. Введение

В настоящее время в области системного анализа и проектирования всё большее внимание исследователей уделяется изучению вопросов, связанных с совершенствованием подходов к представлению знаний. Современное информационное пространство начинает стремительно преумножаться так называемыми процессуальными знаниями, которыми человек овладевает в процессе жизнедеятельности, осваивая те или иные процедуры, методы, способы действий, получая новые знания и обмениваясь ими с другими людьми в процессе совместной деятельности и общения. Технологическое знание в большей степени процессуальное, поскольку основным его предназначением является обеспечение предметно-практической деятельности каждого человека, направленной на преобразование окружающей его действительности [1].

Технологии применимы повсюду, где имеются достижения, стремления к результатам, но осознанное использование технологического подхода было подлинной революцией. До появления технологии господствовало искусство – человек делал нечто, но это нечто получалось только у него, это было как дар. С помощью же технологии всё то, что доступно только избранным, одарённым, становится доступно всем.

Объектом данного исследования являются технологии. Под термином «технология» будем понимать объём знаний о том, каким образом преобразовать конкретно данное, т.е. исходное, в требуемое, т.е. необходимое или ожидаемое. В качестве синонима, если это не приводит к разночтению, будем использовать термин «технологический процесс», поскольку традиционно данным термином называют основной процесс, в результате которого, собственно, и реализуется технология.

Каждая из технологий развивается не на пустом месте, а в условиях накопленного предшествующего опыта людей, который оно аккумулирует в себе различными способами как жизненно важную для общества информацию.

Предметом данного исследования являются способы представления знаний о технологиях. Для того чтобы целенаправленно манипулировать сведениями о технологических процессах, необходимо их фиксировать с помощью специальных систем обозначений, т.е. описывать. Существующие способы описания технологий достаточно разнородны с позиций уровня их формализации [2]. Возможность машинного оперирования технологическими знаниями определяется средствами, методами, инструментальным аппаратом формализации этих знаний [3].

В данной работе излагается возможный подход к формированию методологической основы для разработки инструментария, предназначенного для формализованного описания технологий посредством аппарата онтологического моделирования, который активно применяется в прикладных исследованиях последних лет в области представления знаний.

2. Анализ подходов к определению онтологии действий как категории формализованного представления процессуальных знаний

Деятельность большинства современных специалистов в области онтологического инжиниринга знаний варьируется от декларативного подхода в вопросе определения возможных моделей онтологий понятий [4] и до реализации процедурных механизмов автоматизированного конструирования онтологий предметных областей [5]. Важно понимать, что имеющиеся возможности у существующих инструментариев онтологического проектирования в отношении структурного представления технологий существенно ограничены. Прежде всего, это связано с тем, что подавляющее число подобных систем нацелено на иерархизацию объектов, отражающих исключительно сущностный аспект материального мира [6]. Стоит отметить, что «зоной охвата» технологических знаний является также и совокупность действий, совершаемых над объектами рассматриваемой предметной области.

В [7] указывается на то обстоятельство, что действие можно рассматривать в качестве первичной реальности и, следовательно, использовать в качестве элементарного блока при построении моделей окружающего мира. В то же время, по мнению автора, высокий онтологический статус действия обычно отбрасывается на том основании, что действие недостаточно «фундаментально». Другими словами, построение онтологии действий невозможно без предварительного проектирования онтологии понятий соответствующей предметной области.

В [8] описывается подход к моделированию процессуальной стороны окружающей среды. Автором предлагается модель формальной онтологии материальных процессов, где в качестве понятийных структурных элементов выступают временные состояния объектов. В [9] вводится понятие динамической предметной области, характеристические черты которой могут послужить основой для описания логики протекания процессов во времени. Автором предложена формальная модель онтологии динамической предметной области, которая является актуальной в строго фиксированный момент времени, выбираемый из соответствующей временной структуры. В [8, 9], по сути, изложены процессуальные аспекты действий, однако в классическом понимании термина «онтология» этого недостаточно, поскольку не учитываются особенности их структурного моделирования посредством онтологических отношений иерархического типа.

В [10] приведена общая схема онтологии процесса, в которой «процесс» как категория бытия представлен в виде многоуровневой структуры подпроцессов, операций и т.п. В [11] изложены концептуальные положения по созданию систем визуального проектирования технологических процессов посредством стандарта документирования IDEF3 [12]. Однако отсутствие унифицированного подхода в вопросе представления структурных элементов не позволит подобным специализированным системам стать универсальными для широкого спектра предметных областей.

В [13] предпринимается попытка показать, как созданная на основе теории динамики сил онтология силовых процессов может быть использована для такого семантического представления текста на естественном языке, которое может служить базой для естественно-логического вывода о результатах и дальнейшем развитии описанных в нём ситуаций силового взаимодействия объектов. В то же время лексическая многозначность и контекстная зависимость семантики выражений естественного языка создаёт труднопреодолимые проблемы для построения однозначно интерпретируемых онтологий, используемых в составе автоматизированных систем накопления технологических знаний.

Авторами [10] акцентируется то обстоятельство, что до настоящего времени методик разработки онтологий процессов практически не существует. Исключение составляют широко известные онтологии верхнего уровня, например, Sowa's ontology [14], SUMO [15] и т.п. Правда, сущность понятия «процесс» в них освещена, по большей части, в философском аспекте, что будет крайне мало способствовать разработке формализованных представлений знаний о «рабочих» (реально существующих) технологиях.

3. Постановка задачи

Представления технологических процессов по праву можно отнести к числу слабоструктурированных областей знаний, поскольку до сих пор они не имеют строго научного обоснования и, как следствие, не могут быть полностью осознанными и логически выстроенными [16]. Проблемные аспекты связаны, прежде всего, с необходимостью обоснованного установления содержания исходных и конечных объектов технологии, которые, в свою очередь, смогли бы аккумулировать в себе признаки систем правил определения отдельных технологических действий, рассматриваемых в качестве концептов, с определением их смыслового содержания и отношений между ними.

По результатам проведённого анализа представляется весьма актуальной задача разработки метода формализованного описания структур технологий, заданных в словесной форме и рассматриваемых во всём спектре их возможного применения, в виде построения онтологий технологических действий. Спроектированные на его основе информационные системы позволят в автоматизированном режиме однозначно фиксировать сведения о технологических процессах. Тем самым, с одной стороны, создаются перспективы для разрешения проблем, связанных с бесконечным неструктурированным описанием технологий, а с другой – формируются предпосылки для построения систем описания рационального синтеза новых технологических процессов [17].

4. Модель понятийной (интерпретационной) структуры концепта технологического действия и модель онтологии структурного описания технологий

С семантической точки зрения онтология должна хранить сведения о множествах концептуальных единиц (концептов), предназначением которых является проведение детальной формализации определённой области знаний [18]. В соответствии с общепризнанной практикой онтологического проектирования в качестве подобных концептуальных единиц выступают объекты рассматриваемой предметной области. Объект и предмет нашего исследования указывают на необходимость рассмотрения в качестве концепта технологического действия, представляющего собой единичный элемент структурного описания технологий.

В основу разрабатываемой модели понятийной структуры концепта технологического действия TD положено исходное описание структуры произвольной технологии [19], представляемое в канонизированном виде, графическая интерпретация которого приведена на рис. 1.

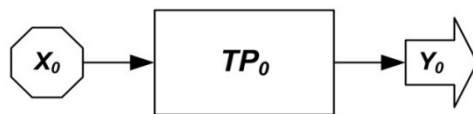


Рис. 1. Исходное описание структуры технологии

В данном представлении под изображёнными составляющими, следует понимать:

– $TP_0 = \bigcup_{\alpha, \dots, \psi} TP_{\alpha, \dots, \psi}$ – имя (название) реализующего описываемую технологию технологического процесса TP_0 , которое обычно представлено в форме глагола (или отглагольного существительного), описывающего ядро исходного технологического действия.

– $X_0 = \bigcup_{\alpha, \dots, \psi} X_{0, \alpha, \dots, \psi}$ – множество всех исходных компонентов данной технологии.

– $Y_0 = \bigcup_{\alpha, \dots, \psi} Y_{\alpha, \dots, \psi, 0}$ – множество всех полученных компонентов (результатов) данной технологии. Индексная последовательность (α, \dots, ψ) отражает декомпозицию составляющих исходного описания технологии на ряд более низких подуровней. Важно отметить, что $X_0 \cup Y_0 \neq \emptyset$. Пару (X_0, Y_0) будем называть «внешней границей» TP_0 .

Глагол как лексико-грамматическая единица представляющий собой ядро $TP_{\alpha, \dots, \lambda}$ модели произвольного концепта технологического действия $TD_{\alpha, \dots, \lambda}$ одного из подуровней (α, \dots, ψ) декомпозиции (рис. 2 а), так что $(\alpha, \dots, \lambda) \subset (\alpha, \dots, \psi)$, является «аморфным» образованием [20]. Это связано с тем, что сам по себе, в отдельности, он обладает очень малой семантической нагрузкой. Эта особенность подчёркивает тот факт, что концепты технологических действий в достаточной мере контекстозависимы. Для уточнения смысловой направленности ядра $TP_{\alpha, \dots, \lambda}$ концепта технологического

действия $TD_{\alpha,\dots,\lambda}$ используются компоненты множества $Y_{\alpha,\dots,\lambda,0}$. Тем самым, происходит целевая установка концепта (рис. 2 б). Концепт можно считать сформированным, если произведена его предметная ориентация посредством компонентов множества $X_{0,\alpha,\dots,\lambda}$ (рис. 2 в). Однако для пополнения содержания уже существующей интерпретационной модели концепта технологического действия $TD_{\alpha,\dots,\lambda}$, в его состав может быть введено множество собственных характеристик $H_{\alpha,\dots,\lambda}$, представленное в виде вектора упорядоченных позиций (рис. 2 г).

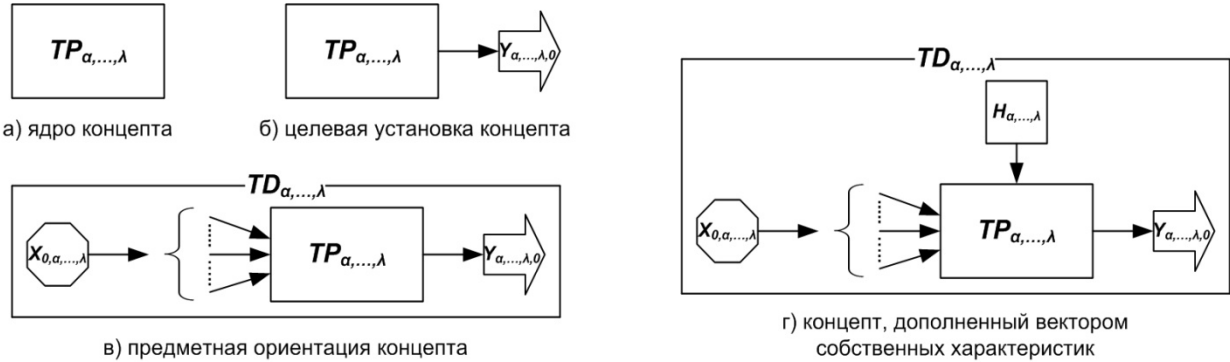


Рис. 2. Интерпретационная модель концепта технологического действия $TD_{\alpha,\dots,\lambda}$

С учётом изложенного модель понятийной (интерпретационной) структуры концепта технологического действия TD произвольного уровня декомпозиции (α,\dots,λ) можно представить следующим кортежем:

$$TD_{\alpha,\dots,\lambda} = \langle TP_{\alpha,\dots,\lambda}, X_{0,\alpha,\dots,\lambda}, Y_{\alpha,\dots,\lambda,0}, H_{\alpha,\dots,\lambda} \rangle \quad (1)$$

Все компоненты $X_{0,\alpha,\dots,\lambda}$ представляют собой множество объектов, существенных для реализации данного $TP_{\alpha,\dots,\lambda}$. Оно определяется кортежем $X_{0,\alpha,\dots,\lambda} = \langle O_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}, S_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}} \rangle$, где $O_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}$ – множество онтологий понятий исходных объектов рассматриваемого $TP_{\alpha,\dots,\lambda}$, $S_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}$ – множество векторов состояний этих объектов, приобретаемых компонентами $X_{0,\alpha,\dots,\lambda}$ после погружения их в описание обсуждаемой технологии. В свою очередь, понятия каждой из онтологий $O_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}$ систематизируются в соответствии с методом [21]. Тем самым, $O_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}} = \langle C_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}, M_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}, R_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}} \rangle$, где $C_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}$ – множество концептов исходных компонентов, $M_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}$ – множество свойств отдельного концепта, $R_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}$ – отношение «род-вид» с множественным наследованием. Важно отметить, что множество $C_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}$ могут наполнять разнородные понятия, которые в полной мере отражают весь спектр манипуляций, необходимых для реализации конкретного $TP_{\alpha,\dots,\lambda}$. В частности, применительно к промышленным технологиям, этими понятиями будут обрабатываемые объекты $B_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}$, необходимое оборудование $W_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}$, требуемые инструменты $G_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}$, прочие приспособления $U_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}$, т.е. $C_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}} = \langle B_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}, W_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}, G_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}}, U_{X_{0,\alpha,\dots,\lambda}} \rangle$.

Упорядочение компонентов $X_{0,\alpha,\dots,\lambda}$ в соответствии с методом [21] позволит в случае необходимости проделывать своеобразный «ремонт» структурированных хранилищ описания технологий, в части корректировки предметной ориентации отдельно взятого концепта технологического действия $TD_{\alpha,\dots,\lambda}$.

В общем случае, согласно выражению (1), технологическое действие $TD_{\alpha,\dots,\lambda}$ определяется совокупностью имён взаимосвязанных технологических процессов $TP_{\alpha,\dots,\lambda}$, преобразуемых в элементарные декомпозиционные конструкции, по принципу «матрёшки» [22], со (μ,\dots,ψ) степенью вложенности отдельных $TP_{\alpha,\dots,\lambda,\mu,\dots,\psi}$ в вершине с корневым $TP_{\alpha,\dots,\lambda}$, т.е. $TP_{\alpha,\dots,\lambda} = \bigcup_{\mu,\dots,\psi} TP_{\alpha,\dots,\lambda,\mu,\dots,\psi}$. Как

отмечалось ранее, интерпретация всех $TP_{\alpha,\dots,\lambda}$ происходит посредством множеств компонентов внешних границ, представляемых соответственно, как $X_{0,\alpha,\dots,\lambda} = \bigcup_{\mu,\dots,\psi} X_{0,\alpha,\dots,\lambda,\mu,\dots,\psi}$ и

$$Y_{\alpha,\dots,\lambda,0} = \bigcup_{\mu,\dots,\psi} Y_{\alpha,\dots,\lambda,\mu,\dots,\psi,0}.$$

В информационных технологиях и компьютерных науках под онтологией чаще всего понимают эксплицитную, т.е. явную, спецификацию концептуализации, которая подразумевает проведение формализации определённой области знаний не только посредством наличия множества концептов, но и описания отношений между ними [23].

Для моделирования иерархической структуры элементарных декомпозиционных конструкций описания технологий с учётом возможностей аппарата онтологического проектирования наиболее предпочтительным является использование отношения «часть-целое» с единичным наследованием, реализуемое между корневым концептом и концептами более частного характера, производных от него. Введение подобного отношения обусловлено необходимостью фиксации степеней вложенности одних TD в другие с учётом того обстоятельства, что частные концепты наследуют лишь часть внешних границ у своего целостного концепта. Тем самым, под отношением «часть-целое» будем понимать отношение, ограничиваемое рамками отношения «подчинения».

Для описания взаимодействия концептов TD одного уровня декомпозиции целесообразно введение отношений «следования» и «параллельности». Разграничение данных отношений производится посредством анализа результата пересечения множеств исходных и конечных компонентов у различных концептов TD одного уровня декомпозиции.

Примечание. В данной статье при анализе связанности концептов TD одного уровня декомпозиции рассматривается исключительно пространственная обусловленность их взаимодействия.

Таким образом, модель онтологии структурного описания произвольной технологии принимает следующий вид:

$$O_T = \langle TD, F, V_N, V_P \rangle, \tag{2}$$

где TD – множество концептов технологических действий; F – отношение «подчинения»; V_N – отношение «следования»; V_P – отношение «параллельности».

На рис. 3 приведён фрагмент онтологии технологии сборки сандалий [24] с указанием всех введённых отношений на примере двухуровневой декомпозиционной структуры, образованной подчинением концептов $TD_1 - \dots - TD_9$ концепту TD_0 , а также подчинением концептов $TD_{31} - TD_{32}$ концепту TD_3 .

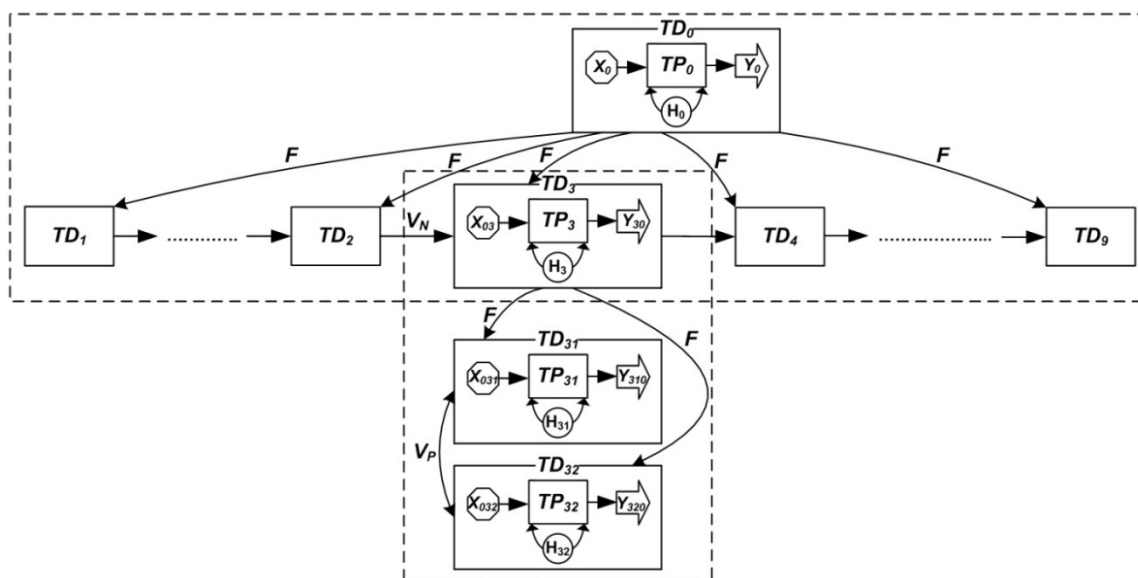


Рис. 3. Фрагмент онтологии технологии сборки сандалий

5. Обобщённая методика проектирования онтологического представления технологических знаний

Построение онтологии технологических действий закономерно начинать с самого верхнего концепта (исходного представления технологии) TD_0 . Процедурный механизм её проектирования можно условно отобразить в виде четырёх этапов, образующих цикл шагов по моделированию элементарных декомпозиционных конструкций («матрёшек»), из которых выстраивается общая структурная организация описания технологий:

- 1) формирование компонентов внешних границ у исходного корневого концепта;
- 2) получение производных концептов первого уровня вложенности;
- 3) формирование компонентов внешних границ у производных концептов первого уровня вложенности с учётом их пространственной взаимосвязи;
- 4) формирование компонентов внешних границ у производных концептов первого уровня вложенности с учётом их рассмотрения в качестве самостоятельных корневых концептов.

Рассмотрим каждый этап в отдельности. Введение этапности обусловлено, прежде всего, приоритетностью в определении отношений между концептуальными единицами.

1 этап.

Специальные руководства по отдельным отраслям производства хранят информацию о достаточно большом количестве «однотипных» технологий [24]. Их исходные описания имеют одно и то же ядро корневого концепта, а технологические действия, ассоциируемые с ними, разнятся набором и наименованиями соответствующих внешних границ. В этой связи рационально будет говорить о построении онтологии технологических действий, в контексте формализации знаний определённой отрасли производства.

По результатам первого этапа структура концепта TD_0 определяется как $X_0 \rightarrow TP_0 \rightarrow Y_0$, где TP_0 – ядро TD_0 , имя которого является единым для технологий одной области знаний, X_0 и Y_0 – множество предметных ориентаций и множество целевых установок унифицированного ядра каждой из «однотипных» технологий соответственно.

2 этап.

Ядро TP_0 исходного корневого концепта TD_0 представляет собой совокупность TP_α ($\alpha = \overline{1, k}$; пусть $k = 3$) более частного характера (в смысле совокупности имен), на которые оно раскладывается.

Сформулируем два обстоятельства (постулата), обеспечивающих на данном этапе непротиворечивое конструирование онтологии технологических действий:

– представление каждого из полученных частных концептов TD_α идентично по структуре исходному корневному концепту TD_0 ;

– реализуемое разложение исходного корневого концепта TD_0 на частные концепты TD_α – единственно. Другими словами, между концептом TD_0 и концептом любого из производных TD_α устанавливается связь по средствам онтологического отношения «часть-целое» с единичным наследованием. Как отмечалось ранее, под отношением «часть-целое» будем понимать отношение, ограничиваемое рамками отношения «подчинения».

Рассмотрим реализацию отношения «подчинения» между концептом TD_0 онтологии технологических действий и концептом одного из производных TD_α , к примеру, TD_2 .

В общем случае структура концепта TD_2 имеет следующее представление: $X_{0,2} \rightarrow TP_2 \rightarrow Y_{2,0}$. Под $Y_{2,0(TD_0)}$ будем понимать множество результирующих компонентов, которые концепт TD_2 наследует от концепта TD_0 . Процедура наследования в рамках отношения «подчинения» обуславливается тем обстоятельством, что TD_2 наследует от TD_0 лишь часть компонентов выходных границ, т.е. $Y_{2,0(TD_0)} \subset Y_0$.

Важно отметить, что количество компонентов выходных границ, наследуемых от концепта TD_0 любым из концептов TD_α , в том числе и концептом TD_2 , будет равным. Это обстоятельство обосновывает вложенность разложения исходного корневого концепта TD_0 в одну ступень декомпо-

зиции, тем самым, можно говорить о единственности подобного расщепления. По сути, данные компоненты выходных границ являются «контрольными», с помощью которых в случае необходимости можно с лёгкостью идентифицировать принадлежность подчинения одного из концептов TD_α исходному корневому концепту TD_0 .

Под $X_{0,2(TD_0)}$ будем понимать множество исходных компонентов, наследуемых концептом TD_2 от концепта TD_0 . Аналогично процедура наследования в рамках отношения «подчинения» объясняется тем, что TD_2 наследует от TD_0 лишь часть компонентов входных границ, т.е. $X_{0,2(TD_0)} \subset X_0$.

Итогом второго этапа проектирования на примере TD_2 является следующее структурное представление концепта: $X_{0,2(TD_0)} \rightarrow TP_2 \rightarrow Y_{2,0(TD_0)}$.

3 этап.

Помимо компонентов множеств $X_{0,2(TD_0)}$ и $Y_{2,0(TD_0)}$, совокупные множества исходных и результирующих компонентов $X_{0,2}$ и $Y_{2,0}$ концепта TD_2 содержат множества компонентов $X_{0,2(TD_2)}$ и $Y_{2,0(TD_2)}$ соответственно, посредством которых устанавливается связь пространственной обусловленности с концептами, соподчинёнными корневому концепту, через соответствующие компоненты их входных и выходных границ.

К примеру, если выполняется $X_{0,2} \cap Y_{1,0} = X_{0,2(TD_2)}$, причём $X_{0,2(TD_2)} \subseteq Y_{1,0(TD_1)}$, то данные выражения обосновывают отношение «следования» концепта TD_2 за концептом TD_1 .

В случае если концепт TD_3 , для которого справедливы соотношения $X_{0,3} \cap Y_{1,0} = X_{0,3(TD_3)}$, $X_{0,3(TD_3)} \subseteq Y_{1,0(TD_1)}$, $X_{0,3(TD_3)} \cap Y_{2,0(TD_2)} = \emptyset$, $X_{0,2(TD_2)} \cap Y_{3,0(TD_3)} = \emptyset$, то данные выражения указывают на то обстоятельство, что концепты TD_2 и TD_3 находятся в отношении «параллельности», обусловленном пространственным аспектом взаимодействия компонентов их внешних границ.

Итогом третьего этапа проектирования на примере TD_2 является следующее структурное представление концепта: $X_{0,2(TD_2)} \cup X_{0,2(TD_0)} \rightarrow TP_2 \rightarrow Y_{2,0(TD_0)} \cup Y_{2,0(TD_2)}$.

4 этап.

Поскольку рассмотрение полученных при декомпозиции концептов технологических действий ведётся по правилам представления каждого из них в виде отдельных самостоятельных концептов [25], особенностью данного этапа является возможное появление иных компонентов внешних границ, изначально не фигурировавших в исходном представлении технологии. Данным манипуляциям будут подвержены исключительно компоненты входных границ концепта, поскольку их предназначением является настройка предметной ориентации, влияющей на реализацию конкретной целевой установки.

Под $X_{0,2}^*$ будем понимать множество интегральных входных границ концепта TD_2 , которое служит для пополнения множества $X_{0,2}$ дополнительными компонентами (оборудованием, инструментами, приспособлениями и т.п.).

Итогом четвёртого этапа проектирования, на примере TD_2 , является следующее структурное представление концепта: $X_{0,2}^* \cup X_{0,2(TD_2)} \cup X_{0,2(TD_0)} \rightarrow TP_2 \rightarrow Y_{2,0(TD_0)} \cup Y_{2,0(TD_2)}$.

6. Выводы

В заключение необходимо обозначить ряд положений, резюмирующих содержание данной статьи:

1) Проведён анализ подходов к определению онтологии действий как категории формализованного представления процессуальных знаний. Его результаты позволяют судить об актуальности ведения дальнейших исследований в этой области, в особенности применительно к вопросам проработки теоретических (идеологических) основ по построению структурированных представлений технологий.

2) Определена интерпретационная структура понятия технологического действия и предложена модель онтологии структурного описания технологии. Данные результаты иллюстрируют но-

визну концептуальных подходов в вопросах возможности многоаспектной разработки метода формализованного манипулирования технологическими знаниями.

3) Описана обобщённая методика проектирования онтологического представления технологий. Алгоритмическая направленность этого результата создаёт предпосылки для создания автоматизированных систем проектирования онтологий технологических действий. Реализация процедурного механизма предложенной методики посредством современных компьютерных средств будет способствовать повышению статуса её практической значимости не только в контексте описания уже существующих технологий, но и в аспекте «расширенных» описаний, представляющих собой синтез технологических процессов различных отраслей производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Махотин Д.А. Технологические знания в современном образовании / Д.А. Махотин // Вестник Московского государственного областного университета. Сер. Педагогика. 2010. № 2. С. 116-121.
2. Андреев Д.А. Способы формализованного описания технологий: попытка обзора / Д.А. Андреев // Труды Псковского политехнического института. Сер. Машиностроение. Электротехника. 2011. № 15.3. С. 291-297.
3. Пименов В.И. Методология формализации знаний о технологических процессах / В.И. Пименов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Сер. 1, Естественные и технические науки. 2010. № 2. С. 45-50.
4. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем: учеб. / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
5. Антонов И.В. Метод автоматизированного построения онтологии предметной области: дис. канд. техн. наук: 05.13.01 / Антонов Игорь Вадимович. Псков, 2011. 156 с.
6. Овдей О.М. Обзор инструментов инженерии онтологий / О.М. Овдей, Г.Ю. Проскудина // Электронные библиотеки. 2004. Т. 7. Вып. 4. URL: <http://www.elbib.ru> (дата обращения 14.03.2012).
7. Turchin V.F. The Cybernetic Ontology of Actions / V.F. Turchin // *Kybernetes*. 1993. Vol. 22 (No. 2). P. 10-30.
8. Шиян Т.А. Формальная онтология материальных процессов и моделирование глобальных биосоциальных образований / Т.А. Шиян // Математическое моделирование социальных процессов. 2004. Вып. 6. URL: <http://lib.socio.msu.ru> (дата обращения 14.03.2012).
9. Кеберле Н.Г. Моделирование динамических предметных областей в онтологиях / Н.Г. Кеберле // Сборник научных работ Харьковского университета воздушных сил. 2009. Вып. 3(21). С. 121-127.
10. Палагин А.В. Системно-онтологический анализ предметной области / А.В. Палагин, Н.Г. Петренко // Управляющие системы и машины. 2009. № 4. С. 3-14.
11. Евгеньев Г.Б. Разработка интеллектуальных САПР технологических процессов / Г.Б. Евгеньев, Б.В. Кузьмин, А.А. Кокорев // Научная сессия МИФИ–2004: сб. науч. тр. М., 2004. Т. 3. С. 43-44.
12. Mayer R.J. Information Integration for Concurrent Engineering (ICE): IDEF3 Process Description Capture: Method Report / R.J. Mayer, C.P. Menzel, M.K. Painter, P.S. deWitte, T. Blinn, B. Perakath. Texas: Knowledge Based Systems Inc., 1995. 224 pp.
13. Кобозева И.М. Онтология силовых процессов / И.М. Кобозева, А.С. Марушкина // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: сб. тр. Междунар. конф. «Диалог». М., 2010. Вып. 9 (16). С. 192-199.
14. Sowa J.F. Conceptual Graphs as a universal knowledge representation / J.F. Sowa // *Computers and Mathematics with Applications*. 1992. Vol. 23 (№ 2-5). P. 75-93.
15. Niles I. Towards a Standard Upper Ontology / I. Niles, A. Pease // In *Proceeding of the 2nd International Conference on Formal Ontology and Information Systems*. Ogunquit, 2001. P. 2-9.
16. Воронов М.В. Моделирование слабоструктурированных проблем: монография / М.В. Воронов. М.: Изд-во СГА, 2010. 332 с.
17. Андреев Д.А. К вопросу о формализации технологических знаний / Д.А. Андреев // Математическое моделирование в образовании, науке и производстве: тез. VII Междунар. конф. Тирасполь, 2011. С. 130-131.
18. Carnap R. Empiricism, Semantics, and Ontology / R. Carnap // *Revue Internationale de Philosophie*. 1950. Vol. 4. P. 20-40.
19. Андреев Д.А. Метод формализованного описания технологий / Д.А. Андреев, М.В. Воронов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Сер. 1, Естественные и технические науки. 2011. № 2. С. 47-51.
20. Jespersen O. The Philosophy of Grammar / O. Jespersen. Ch.: University of Chicago Press, 1992. 372 p.

21. Антонов И.В. Метод построения онтологии предметной области / И.В. Антонов, М.В. Воронов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Сер. 1. Естественные и технические науки. 2010. № 2. С. 28-32.

22. Андреев Д.А. Метод построения онтологий процессов описания технологий / Д.А. Андреев, М.В. Воронов // Математические методы в технике и технологии: сб. тр. XXIV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Пенза, 2011. Т. 9. С. 57-59.

23. Gruber T.R. A translation approach to portable ontology specifications / T.R. Gruber // Knowledge Acquisition. 1993. Vol. 5 (№ 2). P. 199-220.

24. Шагапова И.М. Технология сборки заготовок обуви: учеб. / И.М. Шагапова. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. 184 с.

25. Воронов М.В. Система формализации технологических знаний / М.В. Воронов // Моделирование и анализ данных: тр. факультета информационных технологий МГППУ. 2009. Вып. 4. С. 4-18.

Андреев Дмитрий Анатольевич – ассистент кафедры «Информационные системы и технологии» Псковского государственного университета

Dmitry A. Andreev – Assistant Lecturer
Department of Information Systems and Technologies,
Pskov State University

Воронов Михаил Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы и технологии» Псковского государственного университета

Mikhail V. Voronov – Dr. Sc, Professor
Department of Information Systems and Technologies
Pskov State University

Статья поступила в редакцию 15.05.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 004.94

И.В. Вешнева, Л.А. Мельников

**ОПИСАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ
НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПОЛЕЙ СТАТУСНЫХ ФУНКЦИЙ:
ПРИМЕНЕНИЕ МОД КАРУНЕНА-ЛОВА ДЛЯ СОЦИАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Представлены результаты применения нового метода анализа сложных социальных объектов на основе статусных функций, используемых как функции принадлежности в теории нечетких множеств, но являющиеся комплексными. Представлены корреляционные функции оценок профессиональных компетенций менеджеров коммерческой компании, полученные в результате тестирований. Для их анализа применен метод мод Карунена-Лова.

Теория нечетких множеств, статусные функции, компетенции, индивидуальность, пространственно-временные корреляции, моды Карунена-Лова

I.V. Veshneva, L.A. Melnikov

**DESCRIPTION OF PROFESSIONAL COMPETENCE DEVELOPMENT
USING COMPLEX FIELDS OF STATUS FUNCTIONS: APPLICATION
OF KARHUNEN-LOEVE METHOD FOR SOCIAL INVESTGATIONS**

The results of application of new method of analysis of complex social objects based on the status functions are presented. The given functions are used for the membership function in the fuzzy sets theory, but they are complex valued. The correlation functions for professional competence assessment of the managers in a commercial company were obtained by means of testing. To perform the analysis the method of Karhunen-Loeve modes was used.

Fuzzy sets theory, status functions, competencies, personality, spatio-temporal correlations, Karhunen-Loeve modes

Введение

В традиционно считавшихся гуманитарными областях исследования в последнее время все активнее используются методы исследования, заимствованные из физики, химии, биологии [1]. В настоящее время бурно развивается область экономики, названная экономифизика [2, 3]. Проводятся исследования по проектированию динамических моделей социальных процессов [4, 5].

Сложность применения математических методов исследования обусловлена отсутствием измерительных шкал, что может быть преодолено с введением базовых переменных для лингвистических оценок исследуемых объектов, как это принято в теории нечетких множеств (ТНМ) [6]. Оценка восходящих уровней компетенций может быть выполнена с использованием методов ТНМ, позволяющих использовать понятие нечеткой и лингвистической переменных. Применение ТНМ обладает преимуществами по сравнению с другими, например, вероятностными системами, поскольку дает возможность оперировать не только значениями оценок, но и их степенью достоверности и распределением.

Кроме того, моделирование социальных и экономических процессов ограничено сложностью и перекрестностью процессов, происходящих в этих структурах, приводящей к необходимости формирования поля состояния объекта, подобного полям в естественно-научных исследованиях [7]. Попытки такого представления применялись в психологии начала прошлого века [8]. При этом был совершен переход от понимания невозможности телеологического выведения поведения личности к «галилеевской психологии», и стремлению вывести законы психики, лаконичные и всеобъемлющие, как и законы ньютоново-галилеевской физики. При этом, на основе психологических экспериментов обосновывается и вводится необходимость формирования понятия «психологического поля» субъекта и формируется теория поля в социальных науках. Проводятся попытки описания взаимодействия субъект-социум с помощью аналогии электро-магнитных взаимодействий. Развитие данного направления легло в основу многих современных психологических и социологических практик, таких как, например, социологические тренинги. При этом исследователи оказались не в состоянии сформировать законы психики, лаконичные и всеобъемлющие, как и законы ньютоново-галилеевской физики, что в большой степени обусловлено отмеченным ранее отсутствием измерительных шкал, подобных естественно-научным. Данная проблема может быть решена с применением теории нечетких множеств. Однако теория нечетких множеств обладает такими недостатками как статичность, основанная на приближенном к вероятностному смыслу изначально вводимых функций принадлежности. Преодоление данной проблемы предложено в [9, 10] путем введения комплекснозначных статусных функций вместо функций принадлежности. Такие функции могут быть основой формирования как личностных субъективных психологических полей, так и социологических полей объективных воздействий.

Заметим, что, преодолевая указанные сложности отсутствия измерительных шкал применением теории нечетких множеств, ее статичность – введением комплекснозначных статусных функций, перекрестность описываемых процессов – формированием полей, мы приходим к проблеме распознавания сложных структур, соответствующих исследуемым объектам. В динамических системах сложные пространственные структуры получаются из отдельных, более простых структур – паттернов. При анализе пространственно-временных структур, встречающихся в природе, приходится встречаться с обратной проблемой – на практике измеряется сложная структура и проводится ее анализ [11]. В [13] показаны способы анализа пространственно-временных структур электрических полей человеческого мозга, таких как электроэнцефалограммы, магнитоэнцефалограммы, позволяющие выявить основные паттерны, лежащие в основе измеряемых структур. Аналитический анализ собственных функций для всех случаев при помощи непрерывного преобразования Карунена-Лова проведён в [14]. Описываются способы выявления основных параметров, с помощью которых можно управлять системой, – параметры порядка. Параметры порядка играют доминирующую роль в концепции синергетики [15]. Они «подчиняют» отдельные части, т. е. определяют поведение этих частей. С определением параметров порядка практически описывается поведение системы.

В представленном в данной статье эксперименте наблюдаемые структуры основаны на их моделировании в форме заданных статусных функций. При этом вводятся некоторые переменные, которые являются лингвистическими [16], для которых вводится базовая переменная (интервал оценок) в лингвистических терминах и их функциях принадлежности. Понятие принадлежности в принципе отлично от понятия вероятности и представляется мерой того, насколько значение базовой переменной соответствует лингвистической переменной. Это соответствие определяется принятой моделью реальной описываемой системы. Это позволяет конструировать функции принадлежности в форме, наиболее пригодной для разрабатываемой или принятой модели. Из этого следует и разница в операциях с вероятностями и функциями принадлежности, используемыми в теории нечетких множеств (ТНМ). В работе использованы введенные ранее в работах авторов комплексные функции принадлежности для лингвистической оценки компетенций индивидов, названные статусными функциями. Они включают амплитудный и фазовый множители. Для амплитудной части введены ортогонализированные знакопеременные базисные функции. Конструирование фазовых множителей проводится с учетом личностно-мотивационной части компетенции. При этом сформиро-

ванные структуры оценок на стадии формирования статусных функций и являются в некотором смысле базовыми для формирования всех возможных последующих структур.

В данной работе проводится применение анализа сложных полей двухаспектных оценок набора компетенций индивида и его способности к повышению профессионального уровня со стороны как внешней социальной роли, так и внутренней готовности к ее изменению. Поля получены с применением введенных ранее статусных функций. Для анализа используется метод вычисления пространственно-временных корреляций, называемый модами Карунена-Лова.

1. Преобразование Карунена-Лова

Мы формируем статусную функцию поля оценок профессиональных компетенций в некоторый момент времени t , которое может быть представлено следующим образом:

$$\Psi(x, y, t) = \sum_{i=1}^n w_i(t) \Psi_i(x, y), \quad (1)$$

где n – число оцениваемых компетенций, w_i – весовые коэффициенты соответствующих компетенций, w_{ik}^i – матрица, в которой положение ненулевых значений определяется оценкой. «Координаты» x и y представляют собой непрерывные переменные, над множеством которых определены статусные функции. Значениям этих координат могут быть поставлены в соответствие традиционные оценки (например, при $x_0 < x < x_1$ оценка «удовлетворительно» и т.д.). Переменная x характеризует оценки данные экспертами, y – самооценки. Размеры матрицы w_{ik}^i определяется заданным числом базовых статусных функций. Статусная функция для каждого из участников составлялась из набора входных и выходных оценок на основе введенных базисных функций, определенных в разделе II.

Для описания пространственно-временной динамики поля оценок компетенций используем преобразование Карунена-Лова (КЛ). В случае непрерывного преобразования КЛ собственные вектора $\Psi_j(x, y)$ интегрального уравнения

$$\iint \hat{K}(x, y, x', y') \Psi^*(x', y') dx dy = \lambda_j \Psi_j(x, y) \quad (2)$$

называются модами Карунена-Лова с собственными значениями λ , при этом ядро представляется нормализованной корреляционной матрицей, полученной путем усреднения по времени произведения значений нормированных компонент поля в двух различных точках поперечной плоскости:

$$\hat{K}(x, y, x', y') = \frac{\langle \Psi(x', y', t) \Psi^*(x, y, t) \rangle_t}{W}, \quad (3)$$

где $W = \langle \iint dx dy |\Psi(x, y, t)|^2 \rangle_t$ – условие нормировки.

Работать с матричным уравнением часто более удобно, чем с интегральным. При этом сигнал нужно представить в форме дискретного набора некоторых признаков, например может быть использована декомпозиция поля в терминах мод Гаусса-Лагерра.

Определение собственных значений дает возможность оценить качество приближения модели исследуемого объекта. Оказывается, что во многих случаях, возникающих на практике, достаточно ограничиться только несколькими собственными числами. Основная динамика системы описывается модами, сумма собственных значений которых близка к единице. Для стационарного поля, очевидно, получается одна мода Карунена-Лова с собственным значением $\lambda=1$.

Для случаев с большим количеством мод КЛ моды с собственными значениями $\sum_i \lambda_i < 0.95$

определяют динамику системы и играют решающее влияние в ограничении числа управляющих параметров системы.

Полезность КЛ-преобразования для сокращения избыточности изображений очевидна. Поле распределения оценок заменяется набором переменных, имеющих различные статистические веса. Отбрасывая переменные с малым статистическим весом и сохраняя остальные, можно достичь многократного сжатия. В процессе отбрасывания переменных возникает среднеквадратичное отклонение от оригинала. Особенность КЛ-преобразования состоит в том, что из всех линейных преобразований именно оно обеспечивает минимальную величину такого отклонения.

II. Математическая модель и результаты

Развитие предложенного метода оценки состояния компетенций рассмотрим на примере процесса формирования профессиональных компетенций менеджеров коммерческой компании, занимающейся предоставлением телекоммуникационных услуг населению. Тесты разработаны для оцен-

ки компетенций менеджеров по продажам телекоммуникационных услуг с учетом их специфики. Наличие развернутых ответов в тестах облегчает их заполнение интервьюируемым и позволяет получить более объективную картину. Чтобы исключить субъективное влияние испытуемых на результаты тестирования, последовательность из трех ответов по степени выраженности располагалась для разных вопросов в случайном порядке. Метод расширен возможностью применения двух аспектов оценки набора компетенций. Каждый из участников верификации метода оценивал себя сам и его оценивал руководитель. Эти две оценки предполагались различными измерениями исследуемого субъекта. Получены результаты для 20 менеджеров, анкетирование проводилось четырехкратно с интервалом 2 недели. За временной промежуток между анкетированием каждый менеджер проходил серию обучающих тренингов со специалистами компании и стажировок непосредственно на своем рабочем месте. В результате было сформировано поле, соответствующее набору заданных компетенций исследуемого субъекта. Изменение компетенций отслеживалось в течении двух месяцев.

Для заданного набора девяти профессиональных компетенций проводилась оценка каждой из компетенций в текущий момент времени и желаемое (или ожидаемое) для достижения. Оценка проводилась каждым участником самого себя и, кроме того, каждого участника оценивал руководитель подразделения (супервайзер). Самооценка и оценка супервайзера представляют собой вид одного о того же состояния компетенций в различных проекциях. Эти оценки положены в основу двумерного «поля компетенций» в осях абсцисс и ординат. Оценка состояния, намеченного для достижения, формирует значение фазы соответствующей сформированной статусной функции.

$$\psi_{ijk}(x, y) = f_i(x)f_j(y)\exp(i2\pi k(x+y)), \quad (4)$$

где оценки $k=-1,0,1$. Для самого низкого уровня $k=-1$ отслеживается тенденция на понижение оценки, при $k=0$ – наблюдается соответствие желаемого и достигнутого уровня, $k=1$ – самый высокий уровень во введенной системе оценок, ориентированный на повышение уровня, $f_i(x)$ – знакопеременная функция принадлежности самооценки, полученная в результате процедуры ортогонализации по процедуре Грамма-Шмидта введенных трех возможных гауссовых распределений на интервале $[-0.5;0.5]$. Максимумы функций располагаются при $x = -0.18, x=0, x=0.18$. Если рассчитывать результирующую лингвистическую оценку по математическому ожиданию распределения, то базовая переменная будет меняться в интервале $[-0.18;0.18]$. $f_j(y)$ – аналогичная функция оценки супервайзера.

В отличие от формирования оценки личностной характеристики участника была изменена использованная ранее процедура, в которой были введены три уровня оценки $k=-1,0,1$. Для самого низкого уровня $k=-1$ использовалась оценка – пассивный, для следующего уровня при $k=0$ – декларационный, для высокого уровня $k=1$ – активный. В данной работе с профессиональными менеджерами такая оценка оказалась затруднительной. Поэтому использована терминология «восходящих» компетенций. Для определения значения $k=-1,0,1$ оценивалось соответствие действующей оценки компетенции и ее желаемой оценки. Все оценки были сформулированы в лингвистических позитивно окрашенных утверждениях. Например, вместо утверждения «игнорирует возможности групповой работы и противопоставляет себя коллективу» используется лингвистический терм «имею свое мнение, если оно противоречит интересам группы, отстаиваю и в конечном счете реализую». При $k=0$ отмечается сохранение имеющейся оценки и желаемого состояния. При $k=1$ желаемое состояние соответствует более высокой оценке, при $k=-1$ – более низкой.

Для каждого из участников из набора входных и выходных оценок на основе введенных базисных функций (3) составлялась статусная функция:

$$\Psi_i^n(x, y) = \sum_{l=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=-1}^1 w_{lk}^i \psi_{ijk}(x, y). \quad (5)$$

Затем проводилась сборка результирующей статусной функции:

$$\Psi(x, y) = \sum_{i=1}^9 \sqrt{w_i} \Psi_i^{ex}(x, y). \quad (6)$$

Здесь w_i – весовые коэффициенты соответствующих компетенций.

В проведенном эксперименте получены распределения оценок в 4 момента времени, разнесенные на равные интервалы времени.

Для поиска КЛ мод уравнение (2) решалось численно методом дискретизации. Использовалось разбиение области оценок на 21×21 точек. Решение получившегося матричного уравнения для менеджеров А и О дает моды Карунена-Лова, показанные на рис. 1 и 2. Для опытного менеджера А (рис. 1) динамика описывается двумя модами КЛ с собственными значениями $\lambda_1 = 0.77$ и $\lambda_2 = 0.22$. $\lambda_1 + \lambda_2 = 0.99$. Для начинающего менеджера О (рис. 2) наблюдается похожая картина $\lambda_1 = 0.84$ и $\lambda_2 = 0.11$. $\lambda_1 + \lambda_2 = 0.95$.

Таким образом, можно предположить, что в формировании распределения оценок профессиональных компетенций участвуют всего две КЛ моды.

Рассмотрим модельную задачу, в которой используются три возможных значения для лингвистической оценки супервайзером и самооценки. Значение мотивационных оценок также имеет три восходящих уровня. Таким образом, возможны $3 \times 3 \times 3 = 27$ базисных статусных функций. Низкие

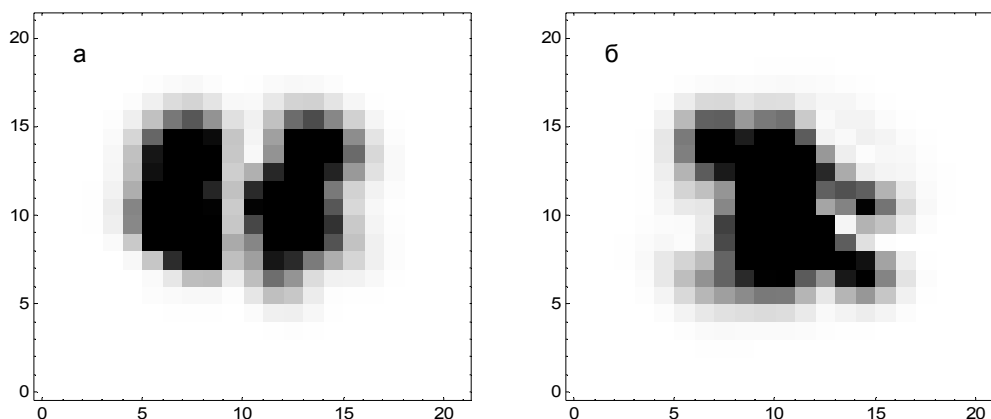


Рис. 1. Две первые КЛ моды $\lambda_1=0,77$ $\lambda_2=0,22$ для распределения оценок профессиональных компетенций опытного менеджера А на рис.1 а

оценки всех компетенций по осям абсцисс и ординат, в случае всех низких мотивационных характеристик показаны на рис. 4 а, все средние – на рис. 3 б и все наивысшие – на рис. 3 в.

Зададим идеализированную модель динамики, когда от состояния, в котором все оценки компетенций являются низкими (функция $f_1(x,y), t=0$), с течением времени оценки становятся средними (функция $f_2(x,y), t=1/2$), и, наконец, все оценки становятся высокими (функция $f_3(x,y), t=1$). Эта ситуация описывается следующей функцией:

$$\psi(x, y, t) = 2\left(t - \frac{1}{2}\right)(t - 1)f_1(x, y) - 4t(t - 1)f_2(x, y) + 2t\left(t - \frac{1}{2}\right)f_3(x, y). \quad (7)$$

При этом ядро \hat{K} представляется нормализованной корреляционной матрицей, полученной путем усреднения по времени произведения значений нормированных компонент поля в двух различных точках поперечной плоскости:

$$\hat{K}(x, y, x', y') = \int_0^1 \psi(x', y', t)\psi^*(x, y, t)dt, \quad (8)$$

Решая уравнение (3) с ядром (10) на той же сетке, получим три КЛ моды (рис. 4). Существование трех мод в данном случае представляется закономерным, поскольку мы формируем поле из трех одинаково весомых составляющих структур.

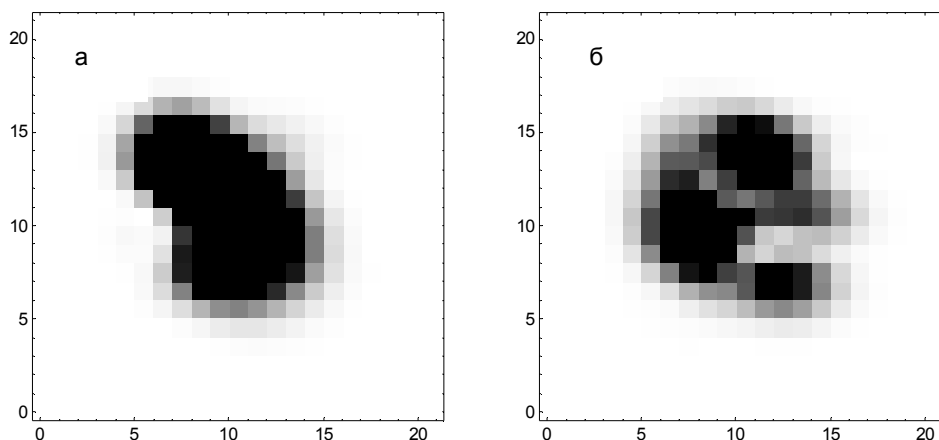


Рис. 2. Две первые КЛ моды $\lambda_1=0,84$, $\lambda_2=0,11$ для распределения оценок профессиональных компетенций начинающего менеджера О на рис.1 б

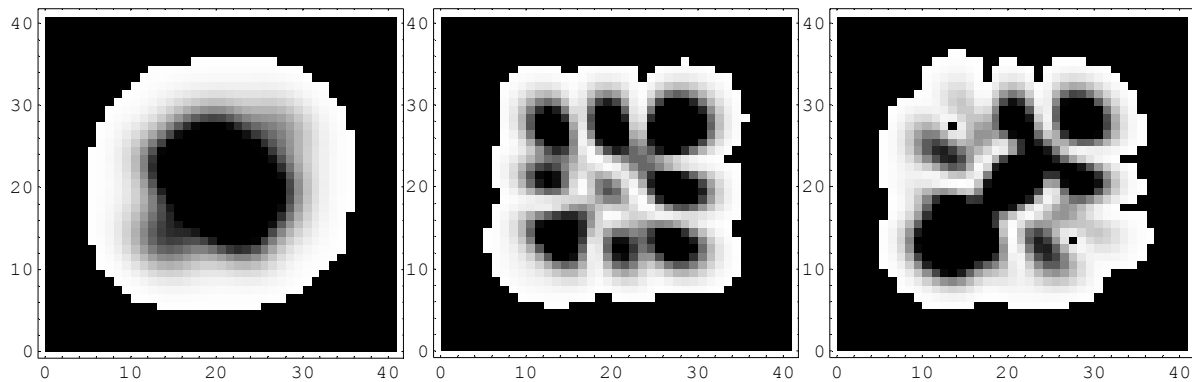


Рис. 3. КЛ моды $\lambda_1=0,716$, $\lambda_2=0,204$, $\lambda_3=0,08$ для распределения оценок модели

В представленном эксперименте используется большее число тестирований. Кроме того, статусные функции более сложны, так как базисных функций больше, и они рассчитываются с использованием весовых коэффициентов значимости каждой компетенции в общей оценке [17].

Заключение

Данная работа представляет собой развитие предложенного в работах авторов нового метода применения комплексных функций, названных статусными вместо положительно определенных функций принадлежности ТНМ для оценки сложных социальных структур. В статье впервые предложен метод построения поля пространственного распределения оценок профессиональных компетенций, подобного физическим полям, основанный на комплексных статусных функциях. Новым в работе является формирование комплексного поля, содержащего больше информации об исследуемом объекте и представляющего собой основу для проектирования динамической модели процесса формирования компетенций. Поля, используемые в ранних работах в области психологии, до некоторой степени напоминают поля, используемые в настоящей работе. Для введенных полей проведено вычисление пространственно-временных корреляций распределения статусных функций оценок профессиональных компетенций в форме мод КЛ. Представлены два примера для опытного и начинающего менеджера. Для опытного менеджера наблюдается более сложное пространственное распределение, что объяснимо заданной структурой оценок, усложнением распределения для более высокого набора оценок. Однако для обоих менеджеров получены две моды КЛ с суммой соответствующих собственных значений ≥ 0.95 , что позволяет утверждать, что они определяют кинематику результирующих структур, и следовательно, кинематику оценок. Сами КЛ моды могут быть использованы в качестве статусных функций, что позволяет заметно упростить описание процесса, хотя оценка компетенций в терминах КЛ мод трудновыполнима. Тем не менее основная цель работы – определить число «параметров порядка» – или числа управляющих параметров системы, которое определяется числом КЛ мод с наибольшими собственными значениями. В данном эксперименте оказалось, что число таких мод мало. Применение КЛ мод может быть положено в основу метода, позволяющего определять параметры порядка и амплитуды подчиненных мод по экспериментально полученным пространственно-временным структурам. Для такого исследования наиболее важным следует считать дальнейшее исследование возможности введения в базовые статусные функции зависимости от времени, чему будет посвящена следующая работа.

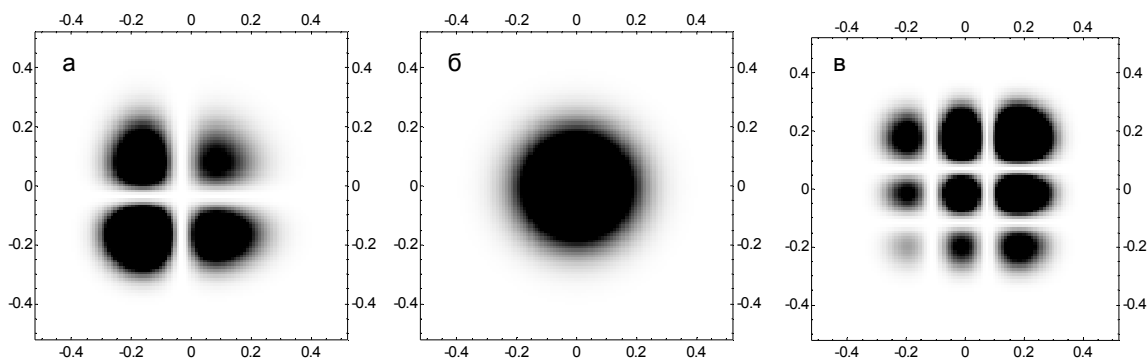


Рис. 4. а – распределение для всех низких оценок компетенций, б – для всех средних и в – для всех высоких

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ 12-07-00598-а)

ЛИТЕРАТУРА

1. Social consensus through the influence of committed minorities / J. Xie, S. Sreenivasan, G. Korniss, W. Zhang, C. Lim, B.K. Szymanski // Phys. Rev. E 2011 (http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/1102/1102.3931v2.pdf).
2. Yakovenko V.M. Jr. Colloquium: Statistical mechanics of money, wealth, and income / V.M. Yakovenko, J.B. Rosser // Rev. Mod. Phys. 81, 1703. 2009.
3. Стриелковски В. Экономика иммигрантских кластеров, общественные связи и международная миграция в рамках динамической сетевой модели Эрдоса-Реньи / В. Стриелковски, П. Шах // Экономика и управление №9 (71) 2011. С. 18-31.
4. Высшая школа России с позиции нелинейной динамики (проблемы, оценки, модели) / М.Н. Стриханов, Д.И. Трубецков, А.А. Короновский, Ю.П. Шараевский, А.Е. Храмов М.: Физматлит, 2007. 192 с.
5. Применение клеточных автоматов для моделирования динамики профессорско-преподавательского состава высшей школы Российской Федерации / А.А. Короновский, М.Н. Стриханов, Д.И. Трубецков, А.Е. Храмов, И.В. Цуканова // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2001. Т. 9. № 6. С. 154-165.
6. Применение математического аппарата теории нечетких множеств к задачам управления вузом на основе сбалансированной системы показателей / И.В. Вешнева, А.А. Большаков, Л.А. Мельников, Л.Г. Перова // Системы управления и информационные технологии, 2011. 1 (43). С. 117-121.
7. Вешнева И.В. Оценка Качества социального объекта, основанная на построении многомерного «поля качества» сбалансированной системы показателей с использованием теории нечетких множеств / И.В. Вешнева // Вестник СГТУ № 3 (57). Вып. 1. 2011. С. 227-234.
8. Левин К. Динамическая психология: избранные труды / К. Левин. М.: Смысл 2001. 572 с.
9. Вешнева И.В. Метод оценки предметных компетенций студентов вуза на основе системы ортонормированных функций принадлежности / И.В. Вешнева, Л.А. Мельников // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика.
10. Вешнева И.В. Моделирование кинематики процесса формирования компетенций студентов вуза / И.В. Вешнева, Л.А. Мельников // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика.
11. Vectorial Karhunen-Loewe modes for the description of the polarization transverse pattern dynamics in lasers and their classification based on the characterization of its singular points / I.V. Veshneva, A.I. Konukhov, M.V. Ryabinina, L.A. Melnikov // J.Opt.B.: Quantum semiclass.Opt. Vol. 3. 2001. P. 209-214.
12. Хакен Г. Принципы работы головного мозга: синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности / Г. Хакен. М.: ПЕР СЭ, 2001. 351 с.
13. Солодовщиков А.Ю. Исследование метода Карунена-Лоэва / А.Ю. Солодовщиков // Известия РАН. Теория и системы управления. 2007. № 4. С. 122-128.
14. Хакен Г. Можем ли мы применять синергетику в науках о человеке? / Г. Хакен // Синергетика и психология. Тексты. Вып 2. Социальные процессы / под ред. И.Н. Трофимовой. М.: Янус-К, 1999. С. 11.
15. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. М.: Мир, 1976. 320 с.
16. Вешнева И.В. Примеры применения знакопеременных функций принадлежности для оценки общекультурных и профессиональных компетенций / И.В. Вешнева, Л.Ю. Стрелюхина // Вестник СГТУ. 2 (65). Вып. 1. 2012.

Вешнева Ирина Владимировна –

кандидат физико-математических наук,
доцент, докторант кафедры «Приборостроение»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Мельников Леонид Аркадьевич –

доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Приборостроение»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Irina V. Veshneva –

Ph. D., Associate Professor
Department of Instrumentation
Gagarin Saratov State Technical University

Leonid A. Melnikov –

Dr. Sc., Professor
Department of Instrumentation
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 24.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

И.В. Вешнева, Т.Л. Травина

**ОПИСАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ
НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПОЛЕЙ СТАТУСНЫХ ФУНКЦИЙ:
НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ**

Предложен метод анализа сложных социальных объектов, основанный на введении статусных функций, которые можно использовать для проведения оценки состояния системы, так же как и функции принадлежности в теории нечетких множеств. При этом статусные функции имеют комплексные значения, так же как и волновые функции в квантовой механике. На основе результатов тестирования получены комплексные поля распределения оценок профессиональных компетенций менеджеров коммерческой компании.

Теория нечетких множеств, статусные функции, компетенции, индивидуальность, волновые функции, расчеты весовых коэффициентов

I.V. Veshneva, T.L. Travina

**DESCRIPTION OF PROFESSIONAL COMPETENCE DEVELOPMENT
USING COMPLEX FIELDS OF STATUS FUNCTIONS: A NEW APPROACH TO THE
PROBLEM**

A method for analyzing complicated social objects based on the introduced status function is proposed. These functions can be used for assessment of the system status, and the membership functions in the fuzzy logic theory. However, similar to the wave functions in quantum mechanics, the status functions have complex values. The test results were used to obtain the complex fields for rating distribution of professional competence of the managers working for commercial companies.

Fuzzy sets theory, status functions, competencies, personality, calculation of weight coefficients

Введение

Все более востребованным является применение методов, разработанных для анализа фундаментальных физических явлений, к решению различных проблем, возникающих в социальных структурах [1, 2]. Отчасти данный процесс обусловлен возрастанием скорости информационного обмена, вызванного объективными причинами, как, например, глобализация и информатизация. При этом требуется применение систем поддержки принятия решений для обеспечения выработки управленческого воздействия, адекватного быстро меняющемуся состоянию управляемого объекта. Его описание активно проводится методами, традиционно применяемыми в естественно-научных исследованиях. Отметим, что в первую очередь статистическая физика оказалась применимой для описания нефизических явлений [3, 4] и востребованной в междисциплинарных областях, биологии, медицине, информационных технологиях. Успешное применение вероятностных методов в статистике сделало методы теории вероятностей широко распространенными во всех сферах жизни, особенно с развитием информационных технологий. С появления фундаментальных работ по теории нечетких множеств (ТНМ) [5] для решения задач интеллектуального управления стали широко применять так называемые лингвистические вероятности.

В настоящее время чрезвычайно актуальной задачей является построение моделей для описания самих принципов интеллектуальной деятельности человека [6]. Многие объекты, изучаемые в науках о человеке, могут рассматриваться как динамические системы. Такие объекты состоят из многих частей, взаимодействующих друг с другом более или менее сложным образом. Методы синергетики применены для изучения когнитивной деятельности одной из самых сложных систем – человеческого мозга [7].

С другой стороны, следует обозначить высокий интерес к внедрению математических методов и шкал оценок со стороны исследователей психологии личности. Например, в [8] проводится изучение коррелированности интеллектуальных способностей личности и общих знаний. При этом вычислены корреляты аспектов личностных характеристик. Метааналитические исследования предполагают, что есть фундаментальные чувства общности среди особых мер познания, аффекта, и способность к волевому движению [9]. Эти чувства общности, в свою очередь, приводят к относительно небольшому набору черт, которые связаны друг с другом и дифференцированно влияют на интеллектуальное развитие.

Для решения задачи управления процессом формирования профессиональных знаний и компетенций в [10-12] успешно используются методы ТНМ. Это очень перспективная и научно обоснованная методика, поскольку использование ТНМ позволяет ввести измерительную шкалу и четко регламентировать правила принятия решений. Следует отметить, что возможности применения ТНМ ограничены. Во-первых, огромное количество информации содержится в трудно формализуемых интуитивных предпочтениях лица, формирующего списки оцениваемых параметров и конструирующей функции принадлежности. Во-вторых, вводимые нечеткие коридоры оценки статичны. Известно, что в физике микромира в основе вероятностных оценок лежат комплекснозначные функции – волновые функции, а плотность вероятности определяется как квадрат модуля волновой функции. Тогда практически измеряемые оценки, для которых удается ввести измерительные шкалы, лежащие в основе лингвистических трактовок, могут быть представлены такими функциями, названными в работе *статусными*. Комплексность позволяет включить в функции большую информацию, влияющую на принятие управленческих решений. Эти две компоненты положены в основу разделения статусной функции на амплитудную и фазовую часть, подобную фазе колебания [13-15].

В данной работе представлен пример применения статусных функций для математического описания многоаспектной оценки формируемых компетенций индивида и его способности к повышению профессионального уровня со стороны как внешней социальной роли, так и внутренней готовности к ее изменению. Заметим, что подобное разделение направленности на свои и общественные интересы положено в основу известной модели Томаса-Киллмена [16], а также используется для анализа и структурирования результатов обширных социальных исследований [17].

I. Подход к решению проблемы

Развитие предложенного метода оценки состояния компетенций рассмотрим на примере процесса формирования профессиональных компетенций менеджеров коммерческой компании, занимающейся предоставлением телекоммуникационных услуг населению. Метод расширен возможностью применения двух аспектов оценки набора компетенций. Каждый из участников верификации метода оценивал себя сам и его оценивал руководитель. Эти две оценки задали два измерения в пространстве состояний исследуемого субъекта. В результате было сформировано поле, соответствующее набору заданных компетенций исследуемого субъекта. Изменение компетенций отслеживалось в течение двух месяцев. В качестве основных групп компетенций для оценки эффективности менеджеров в наши тесты были включены следующие:

- ПК1 – анализ ситуации
- ПК2 – концептуальность мышления
- ПК3 – консервативность
- ПК4 – способ обработки информации
- ПК5 – уверенность в себе
- ПК6 – способ оказания влияния на людей
- ПК7 – сотрудничество в команде
- ПК8 – развитие подчиненных
- ПК9 – восприятие информации от окружающих

Данное количество групп компетенций ограничено сверху для возможности оперативно быстро получать ответы на опросы в закрытой форме. При меньшем количестве получаемой информации может быть недостаточно. Для каждой из этих 9 групп компетенций были сформулированы по три ответа, соответствующих разной степени владения данной компетенцией. Данные тесты разработаны для оценки компетенций менеджеров по продажам телекоммуникационных услуг с учетом их специфики. Наличие развернутых ответов в тестах облегчает их заполнение интервьюируемым и позволяет получить более объективную картину. Чтобы исключить субъективное влияние испытуемых на результаты тестирования, последовательность из трех ответов по степени выраженности располагалась для разных вопросов в случайном порядке.

В тестировании участвовали 20 менеджеров, анкетирование проводилось четырехкратно с интервалом 2 недели. За временной промежуток между анкетированием каждый менеджер проходил серию обучающих тренингов со специалистами компании и стажировок непосредственно на своем рабочем месте. Каждый испытуемый давал ответы на вопросы тестов отдельно как оценку существующего положения вещей и указывал желаемый для него вариант развития ситуации. Это необходимо для оценки мотивации.

Референтная группа менеджеров состояла из двух подгрупп по 10 человек. В первую подгруппу входили начинающие менеджеры со сроком работы менее двух месяцев. Во вторую подгруппу входили менеджеры со сроком работы в данной области от полугода и больше. Помимо собственной оценки испытуемых, получена оценка по предлагаемой шкале для каждого испытуемого, выставленная его непосредственным руководителем (супервайзером). Фрагмент анкеты приведен на рис. 1. В позициях «сегодня» и «завтра» участник оценивает свое состояние на сегодняшний день и то, которого хотел бы достичь в ближайшие месяцы или год. Таким образом, проводится формирование «вектора развития» компетенции.

Анкета, по которой проводилось тестирование:
 ФИО _____
 Работает менеджером по продажам _____ мес.

ПК1. Анализ ситуации

	сегодня	завтра
1 Иногда удается хорошо проанализировать этапы процесса и необходимые ресурсы для его реализации	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Заблаговременно думает об этапах процесса, анализирует, что нужно для выполнения задания	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Действует интуитивно, предпочитает принимать решения максимально быстро	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рис. 1. Фрагмент анкеты тестирования компетенций менеджеров

В табл. 1 приведен фрагмент данных по степени выраженности для каждой из 9 компетенций. Система оценки спроектирована для трех уровней оценки – низкий (Н), средний (С), высокий (В). Первая колонка в каждом столбце компетенций соответствует ответу по оценке реальной ситуации, вторая колонка – желаемая для данного менеджера ситуация (в анкете позиция «завтра»). Такие же анкеты заполняются супервайзером для каждого участника. Следует обратить внимание, что меняются не только оценки текущего состояния как самим менеджером, так и супервайзером, но также и тот уровень, которого менеджер желает достичь в будущем.

Для математической формулировки набора компетенций определимся с лингвистическим пониманием категории компетенции. Отмечая отсутствие четко установленной терминологии в определении понятия компетенции, подчеркнем, что понятие компетенции значительно шире традиционной триады знания-умения-навыки, поскольку включает знания и опыт применения как часть и еще личностную (или мотивационную) составляющую владеющего компетенцией человека. При этом первая часть является измеримой в виде оценки (тесты, анкеты и т.п.) – это вспомогательные инструменты измерения компетенции. Вторая часть – готовность реализации соответствующей компетенции – представляется трудноизмеримой, поскольку «могу сделать что-либо» и «хочу сделать что-либо» могут находиться в некоторых взаимоотношениях типа «могу, но не хочу». Очевидно, что личностная составляющая компетенции при измерениях является в достаточной мере условной (кажущейся или мнимой) и должна проявляться в действии. Такие размышления позволяют выделить две основные составляющие части компетенции – измеряемую в виде оценок ЗУН и личностную, проявляемую в некоторых прецедентах и только в них измеряемую.

Подгруппа начинающих менеджеров (начало декабря)

Менеджер	Стаж (мес.)	ПК1			ПК 2			ПК 3			ПК 4			ПК 5			ПК 6			ПК 7			...
О	0	С	В	Н	Н	В	С	С	В	С	С	В	С	С	Н	С	С	Н	Н	С	С	С	...
С	3	Н	В	С	С	Н	Н	Н	В	Н	С	В	С	С	В	В	С	Н	Н	Н	В	С	...
...																							

При проведении данного социологического эксперимента учет второй мотивационной части компетенции проводится путем отметки желаемого для достижения в скором будущем уровня данной компетенции. Заметим, что в идеализированном случае человек стремится повысить свой уровень. Однако возможно нахождение в условиях типа «инициатива наказуема», тогда целесообразным следовало бы считать понижение активности с целью максимального самосохранения. Желаемый для достижения уровень не оказывает влияния на текущую ситуацию, но будет его оказывать в будущем. В таком случае это воздействие подобно фазе колебания. Поскольку набор компетенций представляет собой изменяющуюся во времени и пространстве оценок-измерений функцию, ее можно представить некоторым аналогом волновой функции, содержащей измеряемую в тестах амплитуду и оказывающей влияние на последующее значение амплитуды – фазу. Такая функция описывает некоторый эквивалент внешнего социального статуса и внутренней личностной готовности принять этот статус или изменить его. Тогда построим функции, в некотором смысле подобные лингвистическим вероятностям ТНМ, описываемые функциями принадлежности, и назовем их статусными.

Вообще говоря, оценка человека может быть многоаспектной, поскольку самопозиционирование человека по заданным сферам деятельности может сильно отличаться от восприятия его достижений и возможностей окружающими людьми. Как, собственно говоря, разные люди воспринимают одни и те же позиции по-разному, с собственных субъективных позиций. Таким образом, оценки компетенций могут быть, во-первых, многомерными, во-вторых, в них может быть включена мнимая часть – в виде фазы. Все это включено в статусные функции.

Для конструирования статусных функций реализуем следующую процедуру. На первом этапе мы задали наборы компетенций и провели их оценку по внешней и самооценке, а также по вектору тенденции изменения.

На втором этапе вычислим весовые коэффициенты значимости каждой компетенции в общей оценке. Для расчета коэффициента корреляции используется следующая методика [18]. Сначала находится сумма квадратов отклонений баллов студентов от среднего арифметического балла по интересующему критерию K_j :

$$SS_j = \sum_{i=1}^n K_{ij}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n K_{ij})^2}{n}, \quad (1)$$

где K_{ij} – баллы i -го студента по j -й компетенции, n – количество тестируемых студентов.

Затем находится сумма квадратов отклонений итоговых тестовых баллов студентов от среднего арифметического балла по всему тесту:

$$SS_y = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)^2}{n}, \quad (2)$$

где Y_i – итоговый тестовый балл i -го студента, n – количество тестируемых студентов.

На следующем шаге вычисляется скорректированная на средние значения сумма попарных произведений баллов по j -й компетенции и итоговых тестовых баллов каждого студента:

$$SP_{jy} = \sum_{i=1}^n K_{ij} Y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n K_{ij}) \cdot (\sum_{i=1}^n Y_i)}{n}. \quad (3)$$

Первая часть формулы (3) представляет собой сумму произведений баллов каждого студента по j -ой компетенции и по итоговому тестовому баллу. Вторая часть формулы (3) представляет собой коррекцию на средние значения произведений баллов каждого студента по j -й компетенции на его итоговый балл.

На последнем шаге рассчитывается коэффициент корреляции j -й компетенции с итоговой суммой баллов:

$$r_{jy} = \frac{SP_{jy}}{\sqrt{SS_j \cdot SS_y}}, \quad (4)$$

Чем выше значение r_{jy} , тем больше потенциальный вклад j -й компетенции в итоговый тестовый балл. Вес компетенции определяется как отношение ее коэффициента корреляции к сумме всех коэффициентов.

Третий этап (рис. 2). Введем систему ортогональных функций $f_i(r)$. Для представления мотивационной характеристики участника используются те же три уровня оценки, однако их влияние учитывается по-другому и формирует «фазу» статусной функции, определяющей значения компетенций исследуемого участника.

Для представления мотивационной характеристики участника мы ввели три уровня оценки $k=-1, 0, 1$. Эти уровни характеризуют требование компании к уровню соответствующей компетенции. Полное соответствие характеризуется значением $k=1$, частичное соответствие $k=0$, состояние, противоположное требуемому компанией, $k=-1$.

Для каждого из участников из набора входных и выходных оценок на основе введенных базисных функций $\psi_{lk}(r) = f_l(r) \exp(i2\pi kr)$ составлялась статусная функция:

$$\Psi_i^{ex}(r) = \sum_{l=1}^3 \sum_{k=-1}^1 w_{lk}^i \psi_{lk}(r). \quad (5)$$

Затем проводится сборка результирующей статусной функции:

$$\Psi^{ex}(r) = \sum_{i=1}^9 \sqrt{w_i} \Psi_i^{ex}(r). \quad (6)$$

Здесь w_i – весовые коэффициенты соответствующих компетенций, w_{lk}^i – матрица 3×3 в которой положение ненулевых значений определяется оценкой. В результате применения описанной процедуры будут получены комплексные поля оценок.

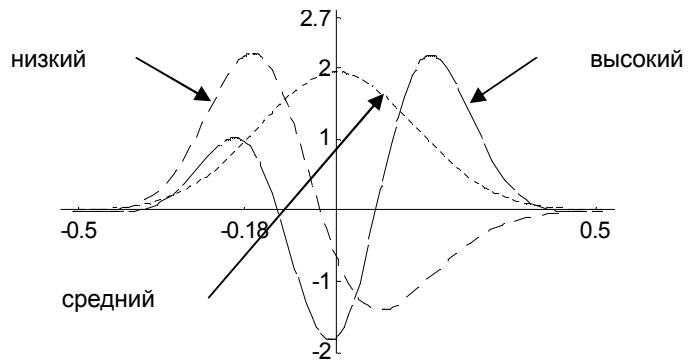


Рис. 2. Функции принадлежности для амплитуды $f_l(r)$ статусных функций

II. Результаты эксперимента

Для верификации предлагаемой модели был проведен эксперимент в группе менеджеров, работающих с клиентами коммерческой компании различный срок. Тестирование проводилось в течение 3 месяцев. За это время некоторые менеджеры ушли из компании, не достигнув хороших результатов работы. В данном случае количество независимых параметров, необходимых для описания состояния субъекта равно двум – это самооценка и оценка эксперта. Оценивание компетенций проводилось руководителем отдела, представляющим компанию, и самим участником эксперимента. Данные оценки сформировали две переменные, задающие «поле» компетенций. В качестве эксперта выступил супервайзер. В наборах девяти входных и девяти выходных компетенций [19] каждая оценена по двум значениям – текущее состояние и желаемое. Желаемое значение формирует фазовую часть оценки. Были получены результаты, подтверждающие адекватность математической модели здравому смыслу и экспертным оценкам. Примеры полей двухаспектной оценки представлены на рис. 3, 4. В табл. 2 приведены значения первых пяти интегральных моментов соответствующих двумерных распределений квадратов модулей статусных функций.

Таблица 2

Значения моментов для приведенных примеров

Значения моментов		Опытный А		Начинающий О	
		1 тест	4 тест	1 тест	4 тест
Нормировка		2.15102	2.15102	1.96448	2.26373
Математическое ожидание по	x	0.0246582	0.0246582	0.0479816	0.0440157
	y	-0.0409559	-0.0409559	-0.106419	-0.0134456
Дисперсия		0.0404493	0.0404493	0.0218917	0.0358318
Асимметрия		0.0012276	0.0012276	0.000547849	-0.00181749
Экссесс		0.00162566	0.00162566	0.0007812	0.00149776

На рис. 3 представлен квадрат амплитуды статусной функции оценки всех компетенций опытного менеджера компании, обозначим его «А». Согласно характеристике супервайзера, он работает хорошо по всем заданным требованиям компании. Отличается самовлюбленностью и стремлением казаться менее умным человеком, чем является в действительности. Обладает четко сформированным стилем поведения, привлекает клиентов обаянием, переменчивой легкостью и веселой соглашательской податливостью. При этом ответы не менялись в течение всего срока тестирования. По словам самого участника, свои взгляды не изменил с первого дня работы. На рисунке видно сложное, однако не изменяющееся поле.

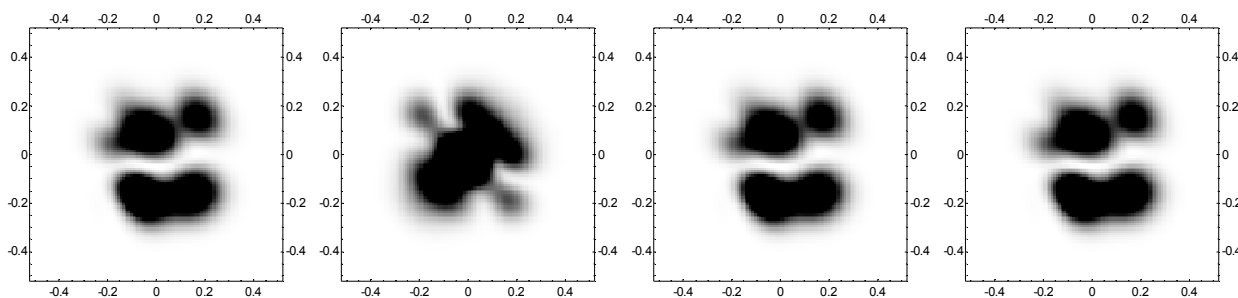


Рис. 3. Распределение оценок для опытного менеджера А, полученное по результатам четырех тестирований с интервалом по две недели

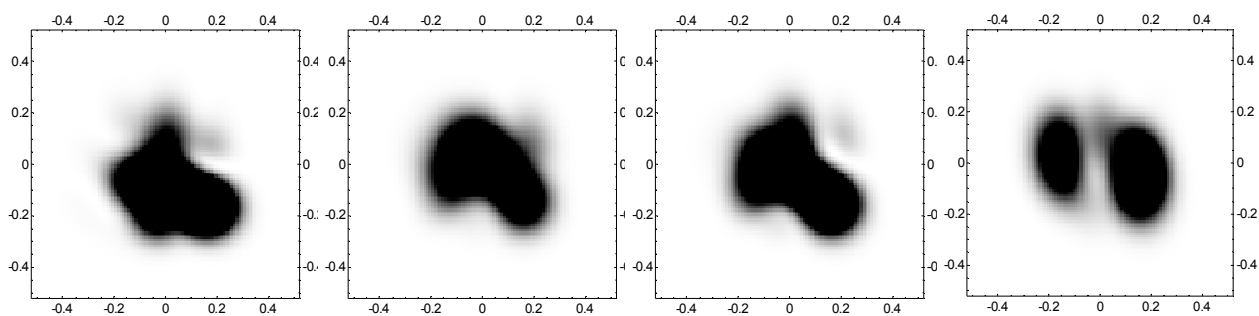


Рис. 4. Распределение оценок для начинающего менеджера О, полученное по результатам четырех тестирований с интервалом по две недели

На рис. 4 представлен квадрат амплитуды распределения статусной функции набора оценок всех компетенций начинающего менеджера компании, обозначим его «О». Согласно характеристике супервайзера, О работает в компании менее месяца. Всячески избегает самостоятельной работы с клиентами, стремится работать в паре. Проявляет сильную психологическую зависимость от напарника. Результаты работы сильно зависят от настроения. Улучшает свои результаты после тренингов и любит их посещать. На рис. 4 видно изменение структуры «поля» компетенций.

Полученные распределения были оценены по пяти моментам. Снижение математического ожидания по x и рост по y говорит о «повороте» структуры, без тенденции на позитивную динамику. Увеличение дисперсии свидетельствует о размазывании оценок по компетенциям, что является знаком негативной динамики формирования компетенций. При улучшении одних оценок снижаются другие. Эту тенденцию подтверждает изменение коэффициента асимметрии с положительного (свидетельствующего о преимущественном влиянии на распределение положительных отклонений) на отрицательный (свидетельствующего о преимущественном влиянии отрицательных отклонений). Такие изменения коэффициента асимметрии свидетельствует о необходимости управленческого воздействия на начинающего менеджера «О». Заметим, что «О» стремится посещать тренинги, вероятно, этого недостаточно. Эксцесс служит для сравнения данного распределения с нормальным, у которого эксцесс равен нулю. Распределения более островершинные, чем нормальное, имеют эксцесс положительный, а более плосковершинные – имеют отрицательный эксцесс. В данном примере эксцесс увеличился, соответственно распределение становится более островершинным.

На самом деле в данной структуре заключено больше информации о состоянии объекта, чем мы смогли извлечь на данном этапе. Когда мы говорим о некотором распределении значений характеристики в пространстве, принято вычислять коэффициент корреляции. Теперь следует определить статистическую взаимосвязь величин оценок компетенций, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать случайными. При этом изменения значений одной или нескольких из этих величин сопутствуют систематическому изменению значений другой величины. Символично подчеркнем социальный смысл корреляции для данного «поля» компетенций. Известное высказывание «Хочешь быть успешным человеком – веди себя как успешный человек» в нашем случае интерпретируется как изменение самооценки по заданным компетенциям будет приводить к систематическому изменению оценок супервайзера (руководителя отдела). В этом смысле такое формирование «полей» компетенций выглядит соответствующим традиционно признанным представлениям в менеджменте.

Заключение

В данной статье для оценки компетенций применены комплекснозначные функции, аналогичные волновой функции в квантовой механике. В отличие от использованных в предыдущих работах статусных функций здесь применены три, а не пять базисных функций. На их основе сформированы комплексные функции принадлежности полного набора заданных компетенций. Предложен способ формирования комплексного «поля» оценок компетенций по двум аспектам: самооценка и внешняя оценка управляющего процессом адаптации управляющего менеджера компании (супервайзера).

В ходе проведения эксперимента выявлено наличие устойчивых структур для полей двумерных оценок у опытных менеджеров, не изменяющихся в процессе работы. У начинающих менеджеров получены сильно изменяющиеся поля состояния оценок профессиональных компетенций. Для них проведены вычисления таких интегральных моментов распределений, как математическое ожидание, ширина распределения, асимметрия и эксцесс. Приведена трактовка их значений, свидетельствующая о недостаточном управленческом вмешательстве в процесс формирования компетенций.

Применение статусных функций позволяет получить достаточно много информации о состоянии субъекта и исследовать динамику изменения статусной функции. При описании динамики полезно использование преобразования Карунена-Лова для выяснения числа существенных параметров, определяющих процесс. Этому будет посвящена следующая работа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ 12-07-00598-а)

ЛИТЕРАТУРА

1. Castellano C. Rev. Mod. Phys. / C. Castellano, S. Fortunato, V. Loreto. 81, 591 (2009).
2. Galam S. // Internat. J. Modern Phys. C 19, 409 (2008).
3. Castellano C. Statistical physics of social dynamics / C. Castellano, S. Fortunato, and V. Loreto // Rev. Mod. Phys. 81, 591. 2009.
4. Chakraborti B.K., Chakraborti A., Chatterjee A. 2006, Econophysics and Sociophysics: Trends and Perspectives (Wiley VCH); Stauer, D., S. Moss de Oliveira, P. de Oliveira, and J. S'а Martins, 2006b, Biology, sociology, geology by computational physicists (Elsevier, Amsterdam).
5. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. М.: Мир, 1976.
6. Хакен Г. Можем ли мы применять синергетику в науках о человеке? / Г. Хакен // Синергетика и психология. Тексты. Вып. 2. Социальные процессы / под ред. И.Н. Трофимовой. М.: Янус-К, 1999. С. 11.
7. Хакен Г. Принципы работы головного мозга: синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности / Г. Хакен. М.: ПЕР СЭ, 2001. 351 с.
8. Furnham A. Personality, intelligence and general knowledge / A. Furnham, T. Chamorro-Premuzic // Learning and Individual Differences 16 (2006). P. 79-90.
9. Ackerman P.L. Intelligence, Personality, and Interests in the Career Choice Process / P.L. Ackerman, M.E. Beier. May 2003. P. 205-218.
10. Ажмухамедов И.М. Нечеткая когнитивная модель оценки компетенций специалиста / И.М. Ажмухамедов // Вестник АГТУ. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2011. № 2. С. 186-190.
11. Применение математического аппарата теории нечетких множеств к задачам управления вузом на основе сбалансированной системы показателей / И.В. Вешнева, А.А. Большаков, Л.А. Мельников, Л.Г. Перова // Системы управления и информационные технологии. 2011. № 1 (43). С. 117-121.

12. Берестнева О.Г. Моделирование интеллектуальной компетентности студентов / О.Г. Берестнева // Известия Томского политехнического университета. Т. 308. № 2. 2005. С. 152-156.
13. Вешнева И.В. Применение теории нечетких множеств к задачам оценки и управления формированием компетенций: Распознавание текущего состояния / И.В. Вешнева, Л.А. Мельников // Вестник СГТУ. № 2 (55). Вып. 1. 2011. С. 181-189.
14. Вешнева И.В. Метод оценки предметных компетенций студентов вуза на базе комплексных функций принадлежности / И.В. Вешнева, А.А. Большаков, Л.А. Мельников // Сб. тр. Междунар. науч. конф. ММГТ-24. Саратов, 2011. Т. 12. С. 102-108.
15. Вешнева И.В. Применение комплексных функций принадлежности для оценки предметных компетенций студентов вуза / И.В. Вешнева, Л.А. Мельников, Т.Л. Травина // Сб. тр. Междунар. науч. конф. ММГТ-24. Саратов, 2011. Т. 12. С. 102-108.
16. Гришина Н. Психология конфликта. 2-е изд., перераб. СПб.: Питер, 2006.
17. Магун В. Базовые ценности россиян и других европейцев / В. Магун, М. Руднев // Вопросы экономики 2010. № 12. С. 107-130.
18. Аванесов В.С. Композиция тестовых заданий: учебная книга для преподавателей вузов, учителей школ, аспирантов и студентов педвузов / В.С. Аванесов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Адепт, 1998. 217 с.
19. Вешнева И.В. Применение комплексных функций принадлежности для оценки предметных компетенций студентов вуза / И.В. Вешнева, Л.А. Вешнева, Т.Л. Травина // Сб. тр. Междунар. науч. конф. ММГТ-24. Саратов, 2011. Т. 12. С. 102-108.

Вешнева Ирина Владимировна – кандидат физико-математических наук, доцент, докторант кафедры «Приборостроение» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Irina V. Veshneva – Ph. D., Associate Professor
Department of Instrumentation
Gagarin Saratov State Technical University

Травина Татьяна Львовна – аспирант кафедры «Приборостроение» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Tatiana L. Travina – Postgraduate
Department of Instrumentation
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 11.07.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 681.5

А.А. Игнатъев, Е.М. Самойлова

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПОДШИПНИКОВ

Рассматривается вопрос применения интеллектуальных систем распознавания локальных дефектов шлифованных поверхностей деталей подшипников.

Мониторинг, искусственный интеллект, детали подшипников, шлифование, дефекты

A.A. Ignatiev, E.M. Samoilova

INTELLECTUALIZATION OF MONITORING THE TECHNOLOGICAL PROCESS IN BEARINGS MANUFACTURING

The article deals with utilization of intelligence systems for revealing local defects over the polished surfaces of the bearing components.

Monitoring, artificial intelligence, details of bearings, grinding, defects

В технологическом процессе изготовления точных изделий, в частности деталей подшипников, в процессе шлифования действует множество переменных факторов, которые дестабилизируют как процесс, так и результаты обработки. Это приводит к необходимости периодически, несколько раз в день контролировать состояние техпроцесса. Задача решается применением средств автоматического управления режимами шлифования с контролем текущего припуска, а также применением средств контроля геометрических параметров точности и физико-механических свойств поверхностного слоя обработанных и подлежащих обработке деталей, т.е. применением мониторинга. Автоматическое распознавание дефектов поверхностей качения – один из вопросов, решение которого представляет собой важный компонент интеллектуальной составляющей мониторинга [1÷3].

В системе мониторинга на ОАО «Саратовский подшипниковый завод» одним из основных методов контроля поверхностного слоя деталей подшипников является вихретоковый метод контроля. Дефекты поверхностного слоя деталей подшипников, такие как прижоги, трещины и ряд других отражаются в результатах сканирования поверхностей качения, причем каждый вид дефекта дает свой уникальный характер «следа» на полученном с помощью прибора вихретокового контроля ПВК-К2М изображении (рис. 1) [1].

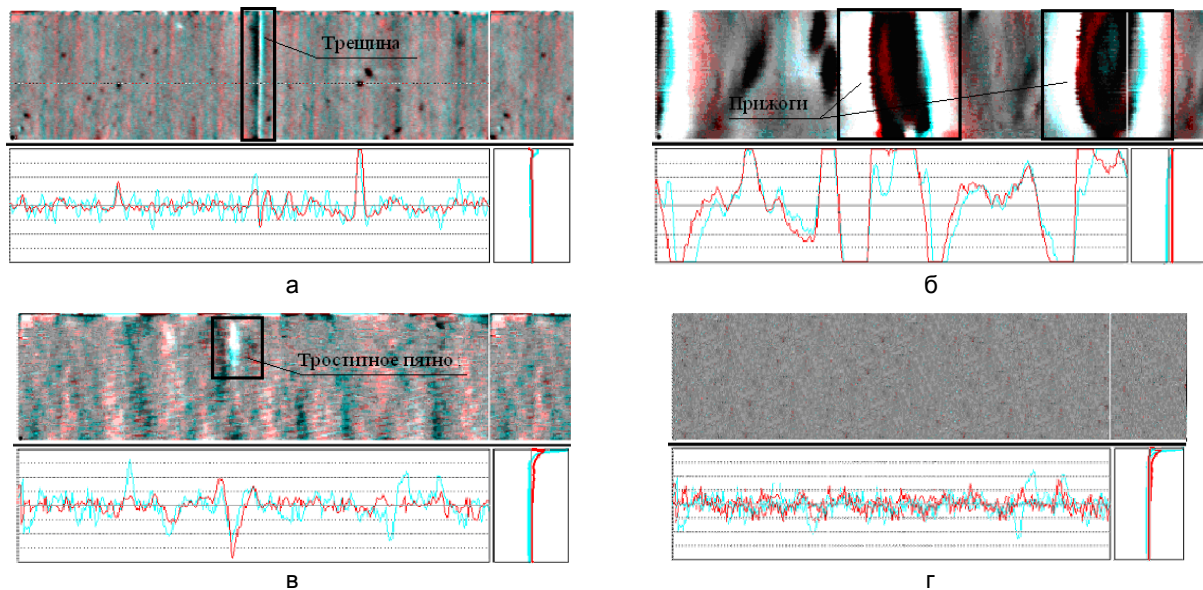


Рис. 1. Результаты вихретокового сканирования ролика подшипника:
а – с трещиной; б – с прижогами; в – с ржавым пятном; г – с приемлемым уровнем качества

Разработанный ранее метод распознавания дефектов по изображению дорожки качения [4] был достаточно эффективным, однако алгоритм обработки сложен и длится порядка 12...16 с.

Реальные нестационарные сигналы от вихретокового преобразователя (ВТП) состоят из кратковременных высокочастотных и длительных низкочастотных компонентов, поэтому для их анализа применяется преобразование, которое обеспечивает различные окна для различных частот (узкие – для высоких частот и широкие – для низких). Этим условиям отвечает вейвлет – преобразование [5]. Локальным неоднородностям поверхностного слоя (рис. 1) соответствуют резкие колебания амплитуд составляющих сигнала по сравнению со средним значением амплитуд сигнала ВТП, полученного при контроле детали с приемлемым уровнем качества, причем наиболее часто встречающиеся дефекты поверхностного слоя деталей подшипников имеют различную форму сигнала ВТП (сигнал имеет две составляющие – фазовую и амплитудную), т.е. выявляются изменения физико-механического состояния поверхностного слоя шлифовальной детали. На основании этого разработана методика автоматического выявления и распознавания локальных дефектов поверхностного слоя деталей подшипников на основе вейвлет-анализа с использованием интегральных оценок. Часть дефектов распознается по амплитудной составляющей, в противном случае осуществляется автоматический переход к распознаванию по фазовой составляющей информационных сигналов (ИС). Обобщенный алгоритм распознавания дефектов представлен на рис. 2 [1, 6].

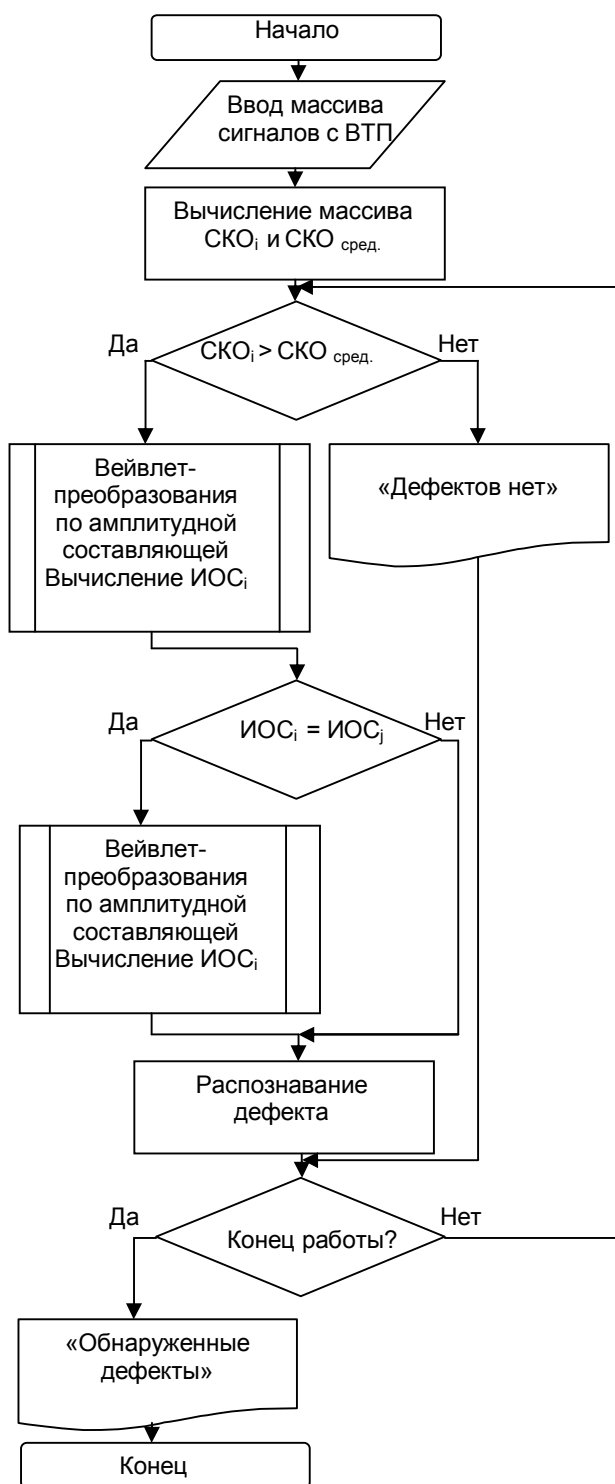


Рис. 2. Алгоритм распознавания дефектов по классифицированным признакам

ленного дефекта, основанное на интегральных оценках спектров вейвлет-коэффициентов найденного дефекта по условному алгоритму (рис. 2).

Далее массив данных выделенного сегмента используется для распознавания вида локального дефекта поверхности качения детали подшипника.

На первом этапе по амплитудной составляющей выделяются дефекты, интегральные оценки спектров (ИОС) вейвлет-коэффициентов которых существенно различаются. Если ИОС от некоторых дефектов практически совпадают, то осуществляется переход к распознаванию по ИОС фазовой составляющей сигнала.

Таким образом, применение двух классификационных признаков позволяет разделить дефекты в пространстве признаков и обеспечить эффективное распознавание всех основных локальных дефектов поверхностей качения (вероятность распознавания $\approx 95 \dots 98\%$).

При использовании в процессе мониторинга метода автоматического выявления и распознавания дефектов поверхностного слоя деталей подшипников предварительно проводится обучающий эксперимент, который можно представить в нескольких этапах. Первоначально устанавливается, какие дефекты будут в дальнейшем распознаваться с помощью реализуемой методики. Вид дефектов устанавливается по специальному классификатору, разработанному на предприятии для визуального выявления дефектов КЗ-2005. Далее отбираются детали, наличие дефектов в которых подтверждено альтернативными методами контроля дефектов. Затем реализуется предлагаемая ниже методика по выявлению и распознаванию поверхностного слоя деталей подшипников по заданному алгоритму, посредством которой для каждой детали вычисляются количественные оценки качества поверхностного слоя из исходного массива значений по амплитудной и фазовой составляющим сигнала ВТП, т.е. определяются классификационные признаки.

Одной из задач автоматизации распознавания дефектов является локализация «следа» дефекта путем нахождения его границ в сигнале, второй – распознавание выделенного дефекта. Выделение «следа» дефекта в информационном сигнале (ИС) осуществляется автоматически на основе оценки среднего квадратического отклонения (СКО) сигнала при разбиении общего массива значений на несколько сегментов (порядка 20). Если СКО ИС в одном или нескольких сегментах существенно отличается от СКО ИС в сегментах без дефектов, например, не 30%, то считается, что ИС содержит «след» дефекта.

Распознавание локального дефекта основано на применении вейвлет-преобразований к массиву данных ИС со «следом» дефекта [6], в соответствии с которым производится разложение сигнала в спектр по базовым вейвлетам Добеши. Полученные спектры коэффициентов имеют различные длину и амплитуду, так как дефекты различаются по геометрическим размерам: глубине, площади. Для последующих этапов распознавания возникает необходимость масштабирования и приведения спектров коэффициентов к одной длине. Для этого составлен алгоритм масштабирования. Последним этапом распознавания дефектов является выявление опреде-

Классификацию дефектов по заданным признакам и улучшение модели классификации за счет дополнительного обучения по мере накопления данных о локальных дефектах позволяет проводить и использование нейронной сети Кохонена [7, 8]. В данном случае выявление дефектов проводится на основе составленной с участием эксперта базы описания дефектов, которая формируется в полуавтоматическом режиме при анализе данных вихретокового контроля известных дефектов. Использование нейронных сетей в полной мере отвечает поставленным задачам классификации, решаемым в процессе интеллектуального мониторинга.

Метод автоматизированного вихретокового контроля дорожек качения колец подшипников после операции шлифования позволяет выявить как периодическую, так и локальные неоднородности структуры поверхностного слоя и по результатам анализа вихретокового образа колец принять решение об их качестве [1, 8].

В результате программного сканирования поверхностей качения деталей подшипников (колец и роликов), автоматизации настройки вихретокового преобразователя (ВТП) и обработки его сигналов одна автоматизированная интеллектуальная система вихретокового контроля позволяет контролировать работу 30-50 шлифовальных станков (рис. 3).

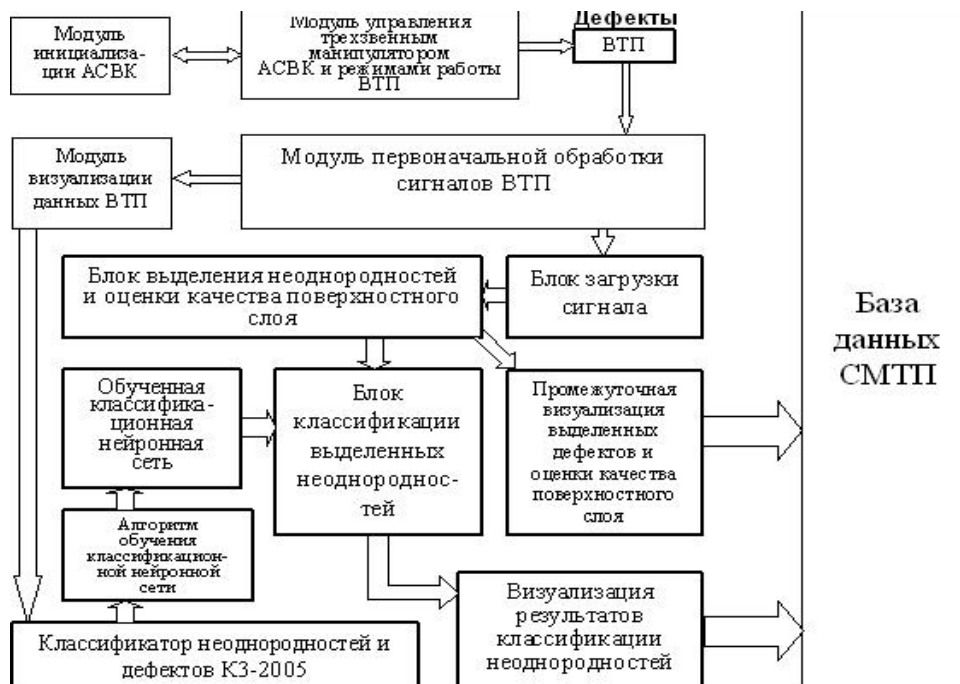


Рис. 3. Структурная схема интеллектуального мониторинга в технологическом процессе производства подшипников

При этом возможность выявления и количественной оценки периодических локальных остаточных неоднородностей поверхностного слоя шлифованных деталей делает систему пригодной для применения в качестве информационного канала для интеллектуальной системы мониторинга технологических процессов (СМТП) [10].

Принимая во внимание, что распознавание образов является одним из направлений искусственного интеллекта, причем система распознавания должна состоять из соответствующих аппаратуры и программно-методического обеспечения, в СМТП (рис. 3) введены элементы системы искусственного интеллекта как попытка сделать автоматизированную производственную систему как можно более автономной и адаптируемой. Это позволяет существенно повысить эффективность производства за счет снижения (ликвидации) брака при изготовлении изделий, увеличения периода нормальной работы технологического оборудования (межналадочный период), реализации системы гибкого технического обслуживания объектов, а также снижения издержек производства [1, 11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатъев С.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции / С.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, А.А. Игнатъев. Саратов: СГТУ, 2009. 160 с.
2. Игнатъев А.А. Совершенствование управления качеством продукции на основе системы мониторинга с элементами искусственного интеллекта / А.А. Игнатъев, Е.М. Самойлова // Вестник СГТУ. 2009. № 3 (41). С. 207-209.
3. Охтиев М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтиев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. М.: Наука, 2006. 410 с.

4. Бахтеев А.Р. Автоматизация распознавания дефектов шлифованных деталей в системе мониторинга технологического процесса производства подшипников / А.Р. Бахтеев, А.А. Игнатъев // Вестник СГТУ. 2006. № 3 (14). С. 136-142.

5. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения / Н.М. Астафьева // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145-1170.

6. Пчелинцев А.С. Автоматическое распознавание дефектов деталей подшипников на основе оценки вейвлет – коэффициентов с использованием интеллектуальных технологий/ А.С. Пчелинцев, А.А. Игнатъев // Вестник СГТУ. 2010. № 3 (48). С. 119-125.

7. Hecht-Nielsen R. Counterpropagation Networks / R. Hecht-Nielsen // Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks. N.Y., 1987. P. 19-32.

8. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссерман. М.: Мир, 1992. 301 с.

9. Горбунов В.В. Статистическое распознавание неоднородностей шлифовальных поверхностей при вихретоковом методе контроля / В.В. Горбунов, А.А. Игнатъев, О.В. Волынская // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2002. С. 43-46.

10. Самойлова Е.М. Интеграция искусственного интеллекта в автоматизированные системы управления и проектирование технологических процессов / Е.М.Самойлова, А.А. Игнатъев // Вестник СГТУ. 2010. № 2 (44). С. 117-119.

11. Системы искусственного интеллекта / В.А. Чулаков, И.Ф. Астахов, А.С. Потапов и др. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 292 с.

Игнатъев Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander A. Ignatyev – Dr. Sc., Professor
Head: Department of Automation Technology and Process Control
Gagarin Saratov State Technical University

Самойлова Елена Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena M. Samoilova – Ph. D., Associate Professor
Department of Automation Technology and Process Control
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 19.08.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 004.891

Т.Д. Козлова, А.А. Игнатъев

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ АТОМАТИЗИРОВАННЫХ СТАНКОВ

В статье описывается математическая обработка экспертной информации методом парных сравнений для построения базы знаний экспертной системы поддержки принятия решений при диагностировании автоматизированных станочных модулей.

Экспертная система, метод парных сравнений, база знаний, автоматизированный станочный модуль

T. D. Kozlova, A.A. Ignatyev

MATHEMATICAL PROCESSING OF EXPERT INFORMATION FOR CREATION OF THE KNOWLEDGE BASE OF EXPERT SYSTEM OF SUPPORT OF DECISION-MAKING WHEN DIAGNOSING THE ATOMATIZIROVANNYKH OF MACHINES

In article mathematical processing of expert information by a method of pair comparisons for creation of the knowledge base of expert system of support of decision-making when diagnosing the automated machine modules is described.

Expert system, method of pair comparisons, the knowledge base, the automated machine module

При построении базы знаний экспертной системы (ЭС) независимо от предметной области необходимо опираться на знания эксперта, а лучше всего группы экспертов. Одной из самых сложных задач при разработке экспертных систем является задача получения знаний от экспертов о проблемной области, для которой разрабатывается ЭС [1]. Для рассматриваемой проблемной области в качестве экспертной информации были использованы данные наблюдений за работой автоматизированных станочных модулей (АСМ) типа ТПАРМ. Данные наблюдения проводились учеными СГТУ под руководством Б. М. Бржозовского [2, 3]. Были выявлены основные функциональные и параметрические отказы модулей, причины их возникновения и способы устранения. При анализе экспериментальных данных возникали спорные ситуации о причинах возникновения неисправностей. Таким образом, можно сделать вывод, что мнения экспертов разошлись. Поэтому существует необходимость математической обработки полученных данных, с целью выявления наиболее предпочтительного варианта решения проблемы.

Для выбора наиболее предпочтительного решения можно применить следующие методы [1, 4]:

- метод статистической обработки мнений нескольких экспертов;
- метод парных сравнений.

Первый метод базируется на теории нечетких множеств. Возможность применения данного метода для обработки экспериментальных данных отказов технологических систем более подробно рассмотрена в работе [5].

Второй метод обработки экспертной информации базируется на классической теории матриц. При установлении причинно-следственных зависимостей между объектами предметной области, экспертам в ряде случаев сложно выразить их численно. То есть трудно установить количественно степень влияния той или иной причины (объекта) на конкретное следствие. Особенно психологически это сложно, если таких объектов много [6]. Анализ литературных источников [1, 4] показал возможность применения данного метода для обработки субъективных измерений в экономике.

Докажем возможность применения данного метода для технологических систем. Осуществим обработку мнений экспертов методом парных сравнений при обнаружении причин неисправностей АСМ типа ТПАРМ. Определим причину неисправности «Шпиндель не набирает нужных оборотов». Экспертам предлагается на выбор четыре варианта ответов:

1. Неисправен блок управления шпинделем. Необходимо заменить его (а);
2. Необходимо вывести суппорт из крайнего положения и произвести повторный пуск программы (б);
3. Ослаб ремень привода шпинделя (в);
4. Необходимо скорректировать программу (г).

Данные сравнения представляются в виде матрицы. Матрица заполняется следующим образом:

$$r_{ij}^h = \begin{cases} 1 & \text{если объект } O_i \text{ более значим, чем } O_j \\ 0.5 & \text{если объект } O_i \text{ и } O_j \text{ равноправны} \\ 0 & \text{если объект } O_i \text{ менее значим, чем } O_j \end{cases} \quad (1)$$

где $h=1,2,\dots,m$ – номер эксперта, $i,j=1,2,\dots,n$ – номера объектов, исследуемых при экспертизе.

Сущность метода заключается в следующем [6]. По результатам экспертизы имеем m -таблиц (матриц) в соответствии с рис.1. Если при оценке пары O_{ij} из общего количества экспертов m_i высказались в пользу предпочтения O_i , m_j экспертов в пользу O_j , m_p считает эти объекты равноправными, то оценка математического ожидания дискретной случайной величины r_{ij} будет равна:

$$x_{ij} = M[r_{ij}^h] = 1 \cdot \frac{m_i}{m} + 0.5 \cdot \frac{m_p}{m} + 0 \cdot \frac{m_j}{m}, h = \overline{1, m}$$

Так как общее количество экспертов $m=m_i+m_p+m_j$, то определяя отсюда m_p и подставляя его в вышеприведенное выражение, получим:

$$x_{ij} = \frac{m_i}{m} + 0.5 \cdot \left(\frac{m - m_i - m_j}{m} \right) = \frac{1}{2} + \frac{m_i - m_j}{2 \cdot m} \quad (2)$$

Очевидно, что $x_{ij}+x_{ji} = 1$. Совокупность величин x_{ij} образуют матрицу $X = \|x_{ij}\|$ размерности $n \times n$, на основе которой можно построить ранжировку всех объектов и определить коэффициенты относительной важности объектов, то есть вектор k :

$$k = [k_1, k_2, \dots, k_n]^T \quad (3)$$

На основании результата опроса группы из трех экспертов построим матрицы парных сравнений:

		R_m	O_1	...	O_j	...	O_n												
	R_2	O_1	...	O_j	...	O_n				O_1	...	O_j	...	O_n				K	
R_1	O_1	...	O_j	...	O_n					O_1								K_1	
O_1										
...									\Rightarrow	O_i			$x_{ij}=M[r_{ij}]$					\Rightarrow	K_i
O_i			r_{ij}^l							
...										O_n								K_n	
O_n																			

Последовательность обработки парных сравнений

Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3
$X1 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0.5 \end{pmatrix}$	$X2 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 1 & 1 & 0.5 & 0.5 \end{pmatrix}$	$X3 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0.5 & 1 & 0.5 \end{pmatrix}$

Для получения групповой оценки степени влияния каждого из объектов на результат, построим матрицу математических ожиданий оценок каждой из пар объектов. Значения элементов матрицы получим из следующих выражений:

$$x_{11}= x_{22}= x_{33}= x_{44}= (0,5 + 0,5 + 0,5) \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{2} = 0,5$$

$$x_{12}= x_{13}= x_{23} = x_{31}= x_{32}= x_{41}= x_{42}= x_{43}= 0$$

$$x_{14}= (1+1+1) \cdot \frac{1}{3} = \frac{3}{3} = 1$$

$$x_{24}= (1+1+0,5) \cdot \frac{1}{3} = 0,833$$

$$x_{34}= (1+0,5+1) \cdot \frac{1}{3} = 0,833$$

Матрица математических ожиданий примет вид:

$$X = \begin{pmatrix} 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0,833 & 0.833 & 0.5 \end{pmatrix}$$

Определим вектор относительной важности объектов:

1. шаг 0

$$K^0 = [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$$

2. шаг 1

$$Y1 = X \cdot K^0$$

$$Y1 = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \\ 3.167 \end{pmatrix}$$

$$\lambda 1 = (1 \ 1 \ 1 \ 1) \cdot Y1$$

$$\lambda_1 = 4.667$$

$$K_1 = \frac{1}{\lambda_1} \cdot Y_1$$

$$K_1 = \begin{pmatrix} 0.107 \\ 0.107 \\ 0.107 \\ 0.679 \end{pmatrix}$$

3. шаг 2

$$Y_2 = X \cdot K_1$$

$$Y_2 = \begin{pmatrix} 0.054 \\ 0.054 \\ 0.054 \\ 0.625 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_2 = (1 \ 1 \ 1 \ 1) \cdot Y_2$$

$$\lambda_2 = 0,786$$

$$K_2 = \frac{1}{\lambda_2} \cdot Y_2$$

$$K_2 = \begin{pmatrix} 0.068 \\ 0.068 \\ 0.068 \\ 0.795 \end{pmatrix}$$

$$\max = K_2 - K_1 = \begin{pmatrix} -0.039 \\ -0.039 \\ -0.039 \\ 0.117 \end{pmatrix}$$

Продолжаем итерационный процесс до тех пор, пока норма оценки не будет меньше заданной ($\max(|K_i^t - K_i^{t-1}|) < 0.001$). Для рассмотренной ситуации итерационный процесс составил 19 шагов.

Таким образом, получаем

$$K_{19} = \begin{pmatrix} 9.494 \cdot 10^{-3} \\ 9.494 \cdot 10^{-3} \\ 9.494 \cdot 10^{-3} \\ 0.972 \end{pmatrix}$$

На четвертом шаге выполняется условие выхода, что позволяет за групповую оценку степени влияния на результат принять вектор коэффициентов относительной важности объектов вида:

$$K_{19} = [0,0094 \ 0,0094 \ 0,0094 \ 0,972]^T$$

Исходя из проведенных исследований, при возникновении ситуации «Шпиндель не набирает нужных оборотов» необходимо скорректировать программу управления скоростью.

Исходя из проведенных исследований данный метод может быть использован для обработки экспертной информации и более предпочтителен для рассматриваемой проблемной области [7, 8]. Выбор обусловлен простотой реализации и возможностью установления причинно-следственных зависимостей между объектами предметной области путем проведения групповой оценки мнений нескольких экспертов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов А.Н. Методы обработки экспертной информации: учеб.-метод. Пособие / А.Н. Павлов, Б.В. Соколов. СПб.: ГУАП, 2005. 42 с.

2. Бржозовский Б.М. Надежность и диагностика технологических систем / Б.М. Бржозовский, А.А. Игнатьев, В.В. Мартынов, А.Г. Схиртладзе. Саратов: СГТУ, 2006. 307 с.
3. Бржозовский Б.М. Обеспечение устойчивого функционирования прецизионных станочных модулей / Бржозовский Б.М., Игнатьев А.А., Мартынов В.В. Саратов: СГТУ, 1990. 120 с.
4. Тинякова В.И. Математические методы обработки экспертной информации / В.И. Тинякова. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2006. 69 с.
5. Евтушевская Т.Д. Применение нечеткой логики для определения причин неисправностей технологических систем // Современные технологии в машиностроении: сб. статей XIII Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: Приволжский дом знаний, 2009. С.181-260.
6. http://www.habarov.spb.ru/main_es.htm
7. Козлова Т.Д. Методика разработки экспертной системы для определения причин неисправностей автоматизированных станочных модулей / Т.Д. Козлова, Е.М. Самойлова // Вестник СГТУ, 2011. №3 (58). Вып. 2. С. 177-182.
8. Козлова Т.Д. Экспертная система поддержки принятия решений при диагностировании автоматизированных станочных модулей / Т.Д.Козлова, Игнатьев А.А. // Вестник СГТУ, 2011. №3 (58). Вып. 2. С. 182-186.

Козлова Татьяна Дмитриевна – аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Tatyana D. Kozlova – Postgraduate of the Department Automation and Processes Control Gagarin Saratov State Technical University

Игнатьев Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Aleksandr A. Ignatyev – Dr. Sc., Professor, Head: Department of Automation and Processes Control Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 12.07.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 687.586

О.А. Комлева, А.А. Игнатьев

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТОМ В РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ

Рассматривается вопрос об управлении магнитоологическим элементом с помощью разработанного программного продукта для изменения физических свойств рабочей жидкости.

Робот-манипулятор, магнитоологическая жидкость, программа управления, характеристики магнитоологического управляющего элемента

О.А. Komleva, A.A. Ignatyev

SOFTWARE FOR CONTROLLING THE MAGNETORHEOLOGICAL ELEMENT IN THE ROBOTIC SYSTEM

The authors consider the issue relating the management of a magnetorheological element by means of a newly designed software product aimed at changing physical characteristics of the working liquid.

Robot-manipulator, magnetorheological liquid, the management program, characteristics of the magnetorheological management element

В полуденное время робототехника шагнула в перед. Широкое внедрение в производственной сфере началось в семидесятые годы XX столетия. В сфере производства применялись промышленные роботы, управляемые автоматически от систем числового программного управления. Выполнение транспортных операций при штамповке, точечная и дуговая сварка выполнялись с помощью роботов с позиционной и контурной системами управления [4]. На операциях дуговой сварки нашли применение датчики слежения за свариванием стыков. Применение элементов адаптации позволило расширить возможности промышленных роботов. Роботизированная установка Kawasaki предназначенная для дуговой точечной сварки (рис. 1) обеспечивает дискретность рабочего органа 0,1 мм [5]. Роботы управляются и функционируют, основываясь на программе, которая создается до выполнения действий и описывает последовательность действий, необходимых для решения поставленной задачи. AS – язык программирования разделяется на два вида: мониторные команды и программные инструкции. Мониторные команды используются для написания, редактирования, выполнения программ и единичных команд. Программные инструкции используются для создания последовательности движения робота Kawasaki серия D, для контроля и управления внешними сигналами и в программах. Программа есть совокупность программных инструкций.

Программа AS уникальна по следующим причинам:

1. Робот может двигаться непрерывно вдоль заданной траектории (CP движение: непрерывное движение).
2. Две координатные системы, базовая система координат и инструментальная система координат, обеспечивающие более точное управление перемещениями робота.
3. Координаты могут быть смещены и повернуты в соответствии с изменением положения детали.
4. При обучении позициям или повторения действий робот может идти по линейной траектории, сохраняя положение инструмента неизменным.
5. Программы могут именовываться свободно и запоминаться без ограничений.
6. Каждая операционная единица может быть задана как программа, и эти программы могут быть скомбинированы в один комплекс (подпрограмма).
7. При помощи контролирования сигналов программы могут быть прерваны, и можно перейти к выполнению других программ с временной приостановкой текущего движения, когда происходит вход внешнего сигнала (прерывание).
8. Программы управления производственным процессом (PC программы) могут выполняться одновременно с управляющими программами робота.
9. Программы и данные позиций могут отображаться на дисплее и записываться на внешний носитель памяти, например на PC карту.
10. Программирование может быть осуществлено при помощи персонального компьютера, подключенного к контроллеру (автономное программирование).

Недостатками данного робота является. Невозможность использовать относительные координаты (например, координаты детали). Координаты изменяются согласно базовым или инструментальным значениям преобразования, поэтому необходимо полное понимание эффекта любого изменения для безопасного использования. Конфигурация робота может измениться, если значения декартовых координат не установлены перед повторяющимися движениями (рис. 2). Операция выравнивания недоступна в режиме сварки (рис. 3). Необходимо сначала приостановить ход работы и внести в программу дополнительные действия, что замедляет процесс производства и уменьшает точность в сварке. Для настройки позиционирования в роботизированной системе дуговой сварки в любом положении его крепления (рис. 4) необходимо установить магнитореологический управляющий элемент [2] с программным управлением [3]. Магнитореологический элемент позволит регулировать точность (обеспечивает дискретность до 0,01 мм) и плавность действий роботизированной системы. В зависимости от требуемой точности установка управляющего элемента может осуществляться на каждом узле робота.

Программный продукт «Программа управления магнитореологическим управляющим элементом» (рис. 5) предназначен для управления вязкостью магнитной жидкости магнитореологического управляющего элемента путем воздействия на неё магнитным полем за счет изменения напряженности с помощью напряжения, подаваемого через микроконтроллер LM3914N.

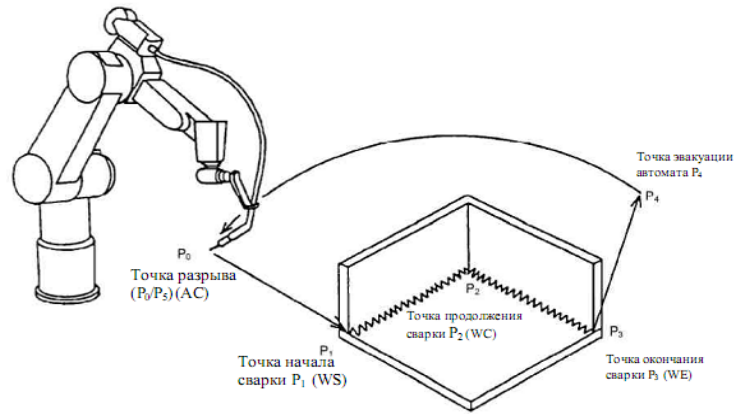


Рис. 1. Горизонтальная сварка робота манипулятора фирмы Kawasaki серия D



Рис. 2. Базовая система координат робота точечной сварки 90° выравнивание

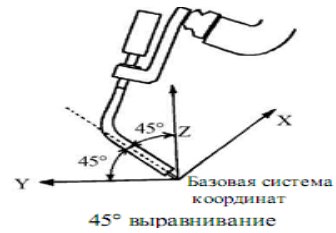


Рис. 3. Выравнивание система координат робота точечной сварки при 45°

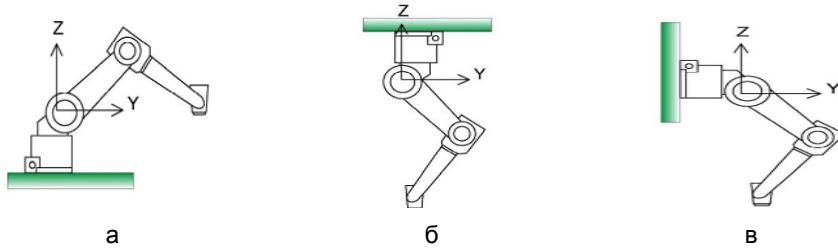


Рис. 4. Настройка позиционирования в роботизированной системе с магнитоореологическим управляющим элементом: а – крепление робота на пол; б – крепление робота на потолок; в – крепление робота на стену

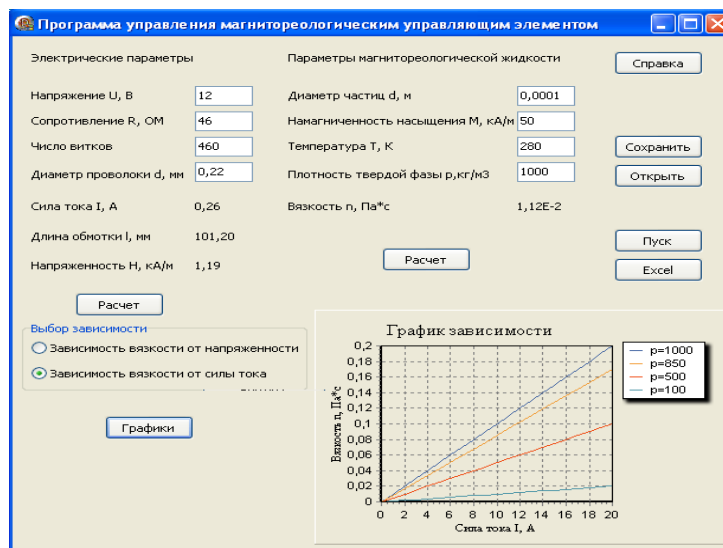


Рис. 5. Внешний вид «Программы управления магнитоореологическим управляющим элементом»

Программа написана на языке Object Pascal с использованием среды программирования Delphi. Алгоритм программы представлен на рис. 6. Программа предназначена для вычисления необходимого напряжения, которое нужно подать на магнитореологический управляющий элемент. Пользователь имеет возможность, занеся технические характеристики (МРУЭ) и характеристики магнитной жидкости, вычислить напряженность магнитного поля, которое будет воздействовать на магнитную жидкость, и вязкость, которая будет замедлять колебания движения. Входными данными является занесение в поля необходимых технических характеристик магнитореологического управляющего элемента (напряжение, сопротивление, число витков катушки и диаметр проводника) и магнитной жидкости (диаметр частиц, намагниченность, температура рабочей среды и плотность).

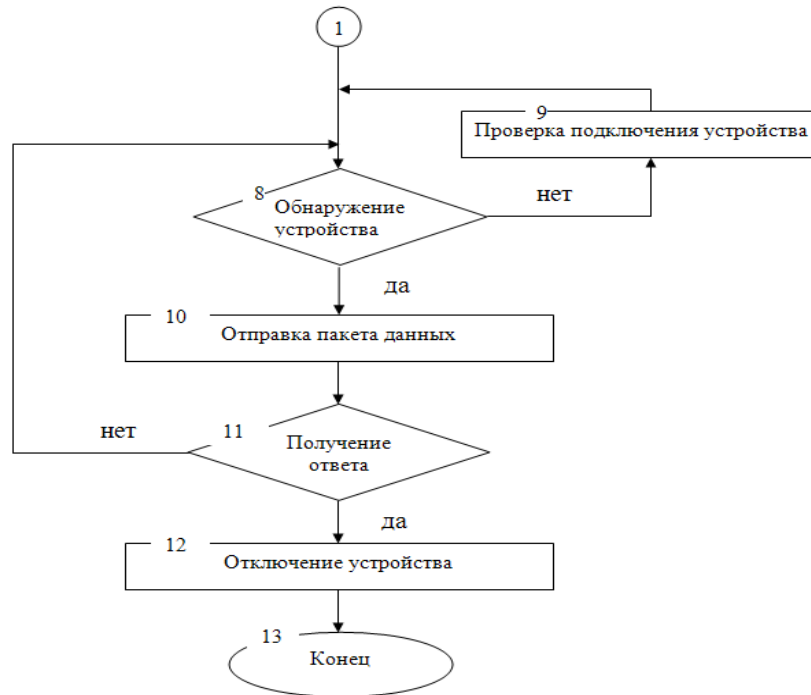


Рис. 6. Алгоритм работы программы управления магнитореологическим управляющим элементом

Выходными данными является отправка пакета данных, содержащего информацию о величине необходимого напряжения на микроконтроллер LM3914N.

Требования к системному и аппаратному обеспечению

Минимальные системные требования:

- операционная система: Microsoft Windows XP Professional / Windows 2000 Professional;
- оперативная память 128 Мбайт (рекомендуется 256 Мбайт).

Минимальные аппаратные требования:

- процессор класса Pentium II, 450 МГц (рекомендуется процессор класса Intel Pentium III, 850 МГц+);
- пространство жесткого диска 100 Мбайт;
- дисковод CD-ROM или DVD-ROM;
- монитор с разрешением SVGA или более высоким разрешением;
- мышь или другое устройство управление позицией;
- клавиатура.

Таким образом, включение магнитореологического элемента в узлы роботизированной системы позволяет увеличить точность позиционирования рабочего органа. Программа управления магнитореологическим элементом позволяет изменить физические свойства рабочей жидкости, тем самым настроить систему с определенной точностью позиционирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комлева О.А. Расчет теоретической статической характеристики магнитоожидкостного амортизатора / О.А. Комлева // Системы автоматического проектирования и автоматизации производства: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2009. С. 232-237.

2. Комлева О.А. Динамические характеристики электромагнитожидкостного управляющего элемента / О.А. Комлева // Вестник СГТУ. 2010. №2 (45). С. 116-120.

3. Программа управлением магнитореологическим управляющим элементом / О.А. Комлева, А.А. Игнатьев. Свидетельство №2011617719. 20.

4. Довбня Н.М. Роботизированные технологические комплексы в ГПС / Н.М. Довбня, А.Н. Кондратьев, Е.И. Юревич. М., 2000.

5. Осьмаков А.А. Технология и оборудование производства электрических машин / А.А. Осьмаков. М., 2003.

Комлева Оксана Анатольевна – аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Oksana A. Komleva – Postgraduate
Department of Automation
Technology and Process Control
Gagarin Saratov State Technical University

Игнатьев Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander A. Ignatyev – Dr. Sc., Professor
Head: Department of Automation
Technology and Process Control
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 21.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 681.5

Е.М. Самойлова, С.А. Игнатьев

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ О КАЧЕСТВЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Рассматривается применение интеллектуального мониторинга механической обработки деталей.

Нейронные сети, распознавание, мониторинг, дефект, качество обработки деталей

E.M. Samoilova, S.A. Ignatiev

DATABASE MINING AND DATA PROCESSING OF THE MECHANICAL TREATMENT QUALITY

Application of the database mining for the mechanical treatment of parts is considered by the authors.

Neural networks, pattern recognition, monitoring, defect, processing quality of details

Интеллектуальный анализ данных и обработка образной информации – это сравнительно новое направление, основу которого составляют две процедуры: обнаружение закономерностей в исходной информации и использование обнаруженных закономерностей для предсказания (прогнозирования). Сюда относятся задачи выбора информативных данных из большой их совокупности, выбора информативных характеристик некоторого объекта из более широкого множества его характеристик, задачи построения модели, позволяющие вычислять значения выбранных информативных характеристик по значениям других характеристик и т. п. [1]. Проблема распознавания образов состоит из двух основных частей: обучения и распознавания. Обучение осуществляется путем определения отдельных признаков с указанием их принадлежности тому или другому образу. В результате обучения распознающая система должна приобрести способность одинаково реагировать на все объекты одного образа и различно – на все объекты различных образов. Очень важно, что процесс обучения должен завершиться идентификацией конечного числа объектов без каких-либо других подсказок. В качестве объектов обучения могут быть как визуальные изображения, так и состояние технического объекта в системах управления и др. [2, 5].

За обучением следует процесс распознавания новых объектов, который характеризует действия уже обученной системы. Автоматизация этих процедур и составляет проблему обучения распознаванию образов. В том случае, когда человек сам вручную вводит в базу знаний ПЭВМ классификационные признаки, проблема распознавания решается частично, так как основную и главную

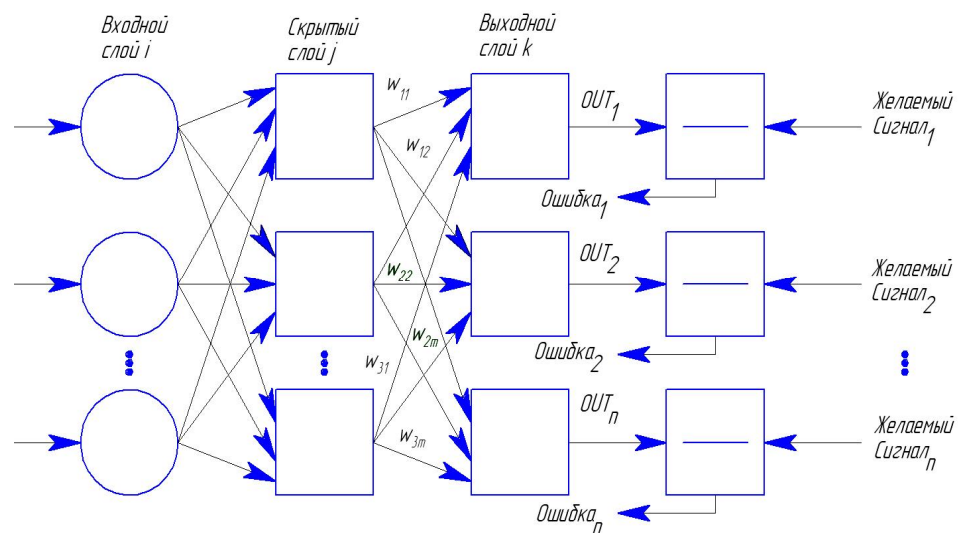


Рис. 1. Обобщенный многослойный перцептрон

часть проблемы (обучение) человек берет на себя, ставя систему в зависимость от так называемого «человеческого фактора». Для решения данной проблемы в настоящее время проводятся исследования по нескольким направлениям. Одно из них – исследования по различным аспектам распознавания изображений с помощью нейросетей. Изучаются методы распознавания последовательностей объектов на основе декларативного подхода и извлечения семантически значимой информации [9]. В целях обучения нейросети наиболее часто используется алгоритм обратного распространения, описанный еще в 1974 году (рис. 1), который используется с целью минимизации ошибки работы многослойного перцептрона и получения желаемого выхода. Основная идея этого метода состоит в распространении сигналов ошибки от выходов сети к её входам, в направлении, обратном прямому распространению сигналов в обычном режиме работы. Этот итеративный градиентный алгоритм имеет ряд недостатков при цифровой обработке сигналов: медлительность и неоднозначность при распознавании искаженных образов, а также непредсказуемость сети на самом этапе распознавания образов сигнала. Причем количество нейронов в скрытых слоях модели и количество распознаваемых сетью образов не находятся в линейной зависимости как друг с другом так и с точностью распознавания. В результате на выходе сети при распознавании появляются образы, которым ее никто не обучал, или не распознаются сигналы, очень похожие на элементы обучающей выборки. При задании более жестких ограничений при обучении сети процесс тренировки сети вообще может стать бесконечным [3, 10].

Для того чтобы избежать рассмотренных выше недостатков, применяется алгоритм, структурированный определенным количеством нейронов для конкретного объема обучающих образов с элементами обучения встречного распространения (рис. 2). Метод встречного распространения основан на отыскании корреляции пар образов обучающей выборки (входных и соответствующих им «желаемых» выходных). Первый слой нейронов вычисляет коэффициенты корреляции заданного в процессе распознавания входного образа X_i с каждым входным образом V_i из «эталонной» обучающей выборки. Далее по этим коэффициентам скрытый слой вычисляет коэффициенты присутствия во входных значениях X_i каждого из k входных образов V_i обучающей выборки (коэффициент «присутствия» – это, по сути, выход каждого из нейронов скрытого слоя). И уже по этим данным выходной слой подсчитывает реальный выход сети, скомбинированный из всех выходных образов обучающей выборки, в соответствии с коэффициентом присутствия. Задача распознавания сети сводится к тому, чтобы сопоставить искаженному входному образу X_i , похожему на один из входных образов, соответствующий ему «желаемый» выходной образ, причем это будет не обязательно один из выходных образов обучающей выборки, а, скорее, комбинация из нескольких D_i , в соответствии со степенью искажения X_i по отношению к V_i . Как видно из рис. 2, на всю модель требуется $(2k+n)$ нейронов с $k(k+m+n)$ синаптическими связями. Предложенный алгоритм позволяет снизить временные затраты за счет обучения модели всем нужным образам выборки за один раз, не прибегая к итерационным процессам и, кроме того, может применяться к решению задачи интеллектуального мониторинга качества механической обработки деталей [3, 5].

Применение подобного алгоритма апробировалось в процессе экспериментальных исследований обработки данных качества механической обработки деталей с помощью нейронных сетей в ОАО «Саратовский подшипниковый завод». Необходимость применения интеллектуального анализа

и обработки данных качества механической обработки деталей с помощью нейронных сетей возникла в связи с тем, что представление результатов вихретокового контроля поверхностей деталей подшипников в виде изображения, неоднородности можно характеризовать по типу, форме и их взаимному расположению, что объясняет большую размерность массивов амплитуды и фазы сигнала вихретокового преобразователя [5]. Например, при контроле поверхностного слоя роликов подшипника размером 32×52 мм из стали марки ШХ-15, обрабатываемых на шлифовальных станках SIW-4, SIW-5, осуществляемом в ОАО «Саратовский подшипниковый завод» в процессе интеллектуального мониторинга, размерность массивов данных может достигать 122 на 3339 точек [6].

Интеллектуальный мониторинг качества механической обработки деталей по степени неоднородности поверхностного слоя и выявления дефектов представляет собой два этапа: выявление и распознавание дефектов поверхностного слоя деталей подшипников (рис. 2 а) и проведение обучающего эксперимента с использованием нейронной сети (рис. 2 б).

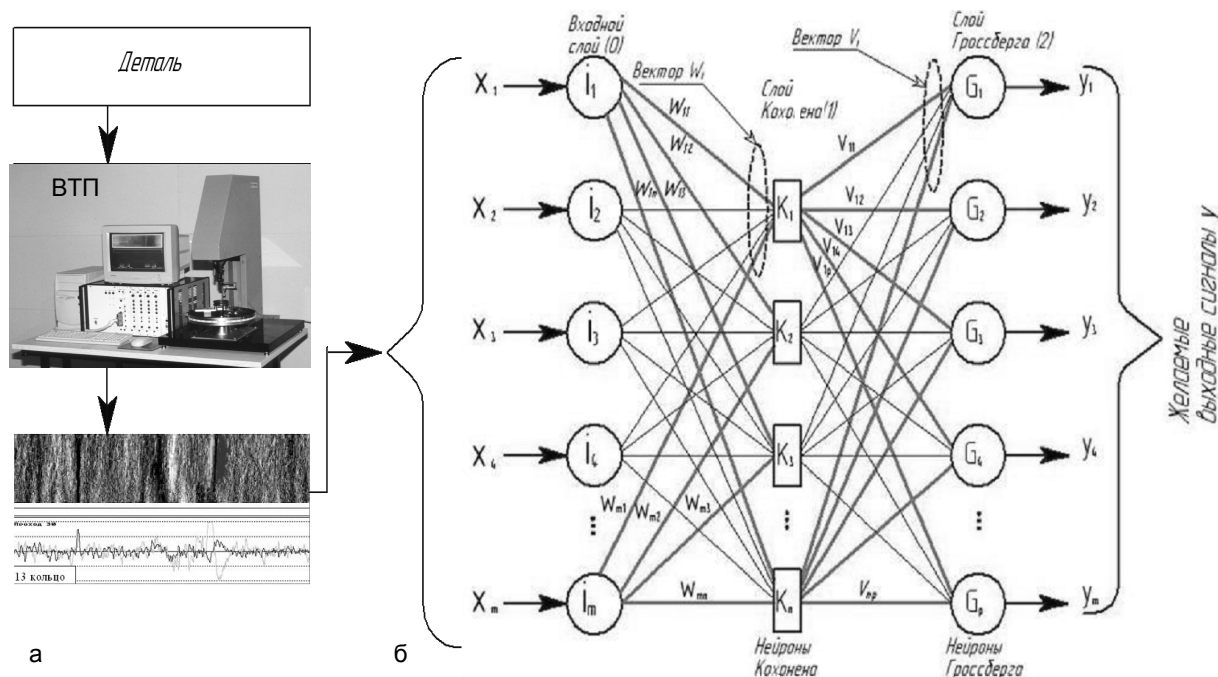


Рис. 2. Схема интеллектуального мониторинга обработки высокоточных изделий, где ВТП – автоматизированный вихретоковый прибор контроля ПВК-К2М

Для экспериментального исследования предлагаемой методики выбрали три дефекта различного происхождения: металлическая трещина, пятнистый прижог и пятно троостита (рис. 3) [4].

В общей сложности было выбрано 112 обучающих образцов сигналов дефектов, для каждого из которых с помощью классификатора КЗ-2005, разработанного на ОАО «Саратовский подшипниковый завод», был сопоставлен вид дефекта. Вид дефекта определялся экспертом лаборатории неразрушающего контроля путем сопоставления изображений тестируемых дефектов, получаемым с помощью ПО ПВК-К2М, с изображениями из классификатора. На этих дефектах была обучена используемая нейронная сеть, которая потом была протестирована на 310 образцах тестовых сигналов, также выделенных из эталонных колец. Результаты тестирования обученной сети приведены в табл. 1.

Для решения задачи идентификации неоднородностей и определения типов дефектов наиболее подходящей является сеть Кохонена. Это объясняется тем, что по сравнению с RBFN-сетью, которая содержит большее число скрытых элементов, она требует более скромных затрат памяти, а по сравнению с небинарной ART-сетью она более проста и предсказуема. При этом используется упрощенная версия представления нейросети (рис. 2 б). Нейроны слоя 0 служат лишь точками разветвления и не выполняют вычислений. Каждый нейрон слоя 0 соединен с каждым нейроном слоя Кохонена отдельным весом w_{mn} . Эти веса в целом рассматриваются как матрица весов W . Аналогично каждый нейрон в слое Кохонена соединен с каждым нейроном в слое Гроссберга весом v_{np} . Эти веса образуют матрицу весов V . Как и многие другие сети, встречное распространение функционирует в двух режимах: в нормальном режиме, при котором принимается входной вектор X и выдается выходной вектор Y , и в режиме обучения, при котором подается входной вектор и веса корректируются, чтобы дать требуемый выходной вектор.

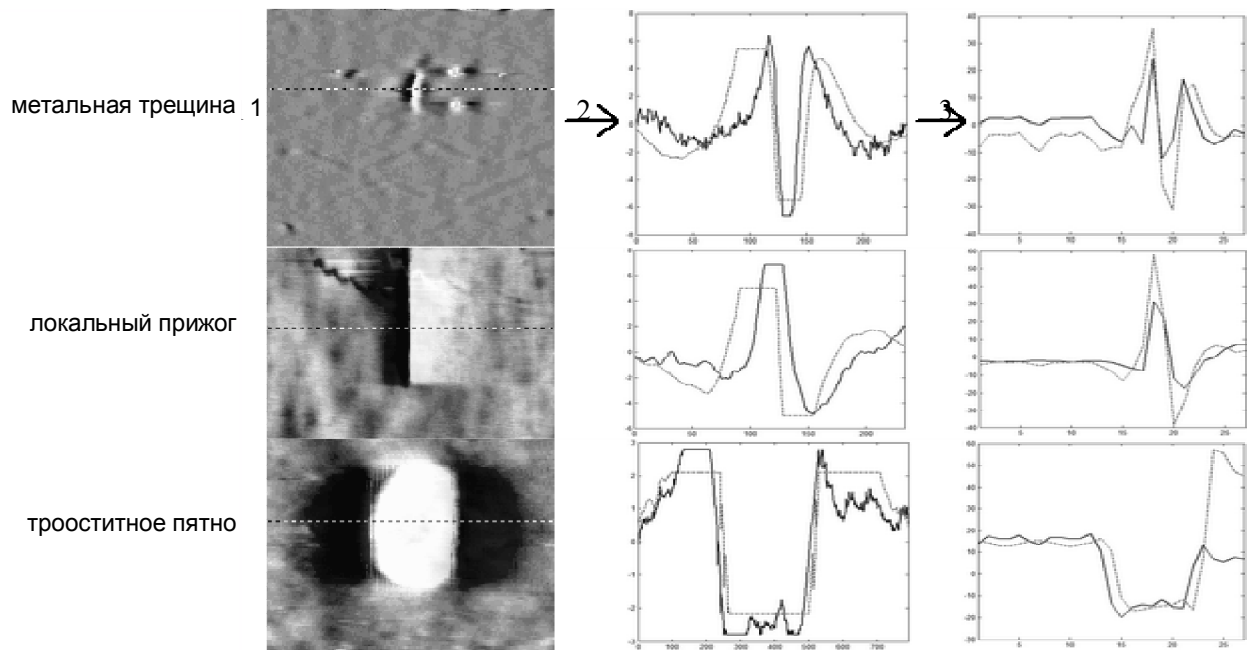


Рис. 3. Сканогаммы дефектов, полученные с помощью прибора ПВК-К2М (1), их локализация в сигнале (2) и аппроксимация выделенного сигнала, из которой происходит выделение классификационных признаков (3)

Результаты тестирования обученной нейронной сети

Таблица 1

Вид дефекта	Процент верно распознанных дефектов
Металлическая трещина	95,8% (69 из 72 дефектов)
Прижог	95,6% (110 из 115 дефектов)
Трооститное пятно	97,5% (120 из 123 дефектов)
<i>Общая эффективность сети</i>	<i>96,3%</i>

После обучения нейронной сети реализованный метод был протестирован на 30 кольцах, каждое из которых содержало один или несколько локальных дефектов из числа рассматриваемых. Результаты приведены в табл. 2.

Результаты применения разработанного алгоритма

Таблица 2

Вид дефекта	Процент верно распознанных дефектов
Металлическая трещина	90% (9 из 10 дефектов)
Прижог	92,8% (13 из 14 дефектов)
Трооститное пятно	100% (10 из 10 дефектов)

Полный цикл работы метода при анализе вихретокового сигнала одной детали подшипника составил в среднем 10-15 секунд, что подтверждает целесообразность и эффективность использования разработанного метода в производственных условиях [4].

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что изменения в структуре электромагнитного поля, обусловленные перераспределением вихревых токов в объеме материала при наличии в нем неоднородностей, содержат достаточную информацию для определения типа и места положения дефектов, а применение интеллектуального анализа и обработки полученных данных для оценки качества поверхности деталей подшипников подтвердили целесообразность использования нейронных сетей и эффективность применения разработанных методов и алгоритмов для решения задач классификации деталей подшипников по степени неоднородности поверхностного слоя и выявления дефектов. Формируемая в процессе обучения и распознавания база знаний по устранению причин выявляемых типов дефектов помогает еще и эффективно решать задачу обучения персонала, обслуживающего и эксплуатирующего шлифовальное оборудование [6-8]. Все вышеперечисленное позволяет реализовать интеллектуальный мониторинг, поднимая качество выпускаемой продукции на более высокий уровень, и практически исключить брак при шлифовании деталей подшипников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hecht-Nielsen R. Counterpropagation Networks / R. Hecht-Nielsen // Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks. N.Y., 1987. P. 19-32.
2. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссерман. М.: Мир, 1992. 301 с.
3. Бровкова М.Б. Интеллектуализация автоматизированного машиностроительного производства / М.Б. Бровкова. Саратов: СГТУ, 2004. 76 с.
4. Игнатъев С.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции / С.А. Игнатъев, В.В. Горбунов, А.А. Игнатъев // Саратов: СГТУ, 2009. 160 с
5. Самойлова Е.М. Интеграция искусственного интеллекта в автоматизированные системы управления и проектирование технологических процессов / Е.М. Самойлова, А.А. Игнатъев // Вестник СГТУ. 2010. № 2 (44). С. 117-119.
6. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А. Игнатъев, М.В. Виноградов, В.В. Горбунов, В.А. Добряков, С.А. Игнатъев // Саратов: СГТУ, 2004. 124 с
7. Игнатъев А.А. Автоматизация распознавания дефектов шлифованных деталей в системе мониторинга технологического процесса производства подшипников / А.А. Игнатъев, А.Р. Бахтеев; Вестник СГТУ. 2006. № 3 (14). С. 136-142.
8. Горбунов В.В. Статистическое распознавание неоднородностей шлифовальных поверхностей при вихретоковом методе контроля / В.В. Горбунов, А.А. Игнатъев, О.В. Волынская // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2002. С. 43-46.
9. Фор А. Восприятие и распознавание образов / А. Фор. М.: Машиностроение, 1989. 272 с.
10. Дмитриев А.К. Основы теории построения и контроля сложных систем / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 192 с.

Самойлова Елена Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena M. Samoilova – Ph. D., Associate Professor
Department of Automation
Technology and Process Control
Gagarin Saratov State Technical University

Игнатъев Станислав Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Stanislav A. Ignatiev – Dr. Sc., Professor
Department of Automation
Technology and Process Control
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 11.05.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 303.732.428

Е.А. Тырин, А.А. Чередников, Г.М. Чуркин

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУР
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

Предлагается при формировании АСУ ТП выделить административно-управленческие и автоматизированно-информационные структуры. Особенности формирования указанных структур позволяют организовать определенный порядок принятия решений в процессе их проектирования, обеспечивая полноту формирования модели принятия решений.

Структура системы управления, задачи выбора

E.A. Tyrin, A.A. Cherednikov, G.M. Churkin

CHARACTERISTIC PROPERTIES OF THE HIERARCHY OF INDUSTRIAL CONTROL SYSTEM

For creating industrial control systems it is offered to identify the management-and-administration system, as well as the automated – information system. Characteristic features of these specified structures allow organizing a set order of decision-making in the course of their design, and thus provide a complete format of decision-making.

Structure of a control system, choice problem

Введение. В [3, 4] рассматривается организация административно-управленческих взаимодействий и отношений в системах управления различных организационных формах производства. Кроме административно-управленческих взаимодействий и отношений, в системах управления (в том числе и в АСУ ТП) имеют место другие виды взаимодействий и отношений. Из всего многообразия отношений и взаимодействий рассмотрим взаимодействия административно-управленческие и автоматизированно-информационные. Последние реализуются техническими средствами (программно-технический комплекс) АСУ ТП. Назначение технических средств – подготовка информации для принятия управленческого решения или реализация управления по определённым правилам (автоматическое управление) [1].

Организация отношений и взаимодействий между сотрудниками и техническими средствами (элементами системы управления), отражённая различными структурами, позволяет системе проявить себя как целое при формировании управленческих решений.

Рассмотрим особенности формирования административно-управленческой организационной структуры (АУОС) и организационной структуры технических средств (ОСТС) системы управления технологического процесса.

Используемые в работе термины и определения общетехнических понятий соответствуют ГОСТ 34. 003-90.

Формирование АУОС. АУОС – совокупность специализированных функциональных подразделений, взаимосвязанных в процессе обоснования, выработки, принятия и реализации управленческих решений [3, 4]. Особенности формирования АУОС технологического процесса изложим по этапам формирования.

Реализация ТП находит отражение в проектной технологической документации, поэтому *первым этапом* формирования системы управления ТП должен быть этап ознакомления с этой документацией, ее изучения.

На *втором этапе* необходимо рассматривать ТП как процесс в какой-либо организационной форме производства:

– определить уровень этой организационной формы производства;

– определить совокупность укрупненных компонентов, необходимых для существования и функционирования организационной формы производства, реализующей ТП, т.е.

$$S = \{ \{Z\}, \{N_s\}, \{C_s\}, \{T_z\}, \{C_p\}, \{\Delta T_s\} \}, \quad (1)$$

где $\{Z\}$ – структура целей; $\{N_s\}$ – множество элементов структур организационной формы производства (основной деятельности, организационной и т.п.), реализующих цели; $\{C_s\}$ – множество связей между структурными элементами; $\{T_z\}$ – совокупность технологий, реализуемых в ТП; $\{C_p\}$ – условия (среда) существования организационной формы производства, т.е. факторы, влияющие на ее функционирование (другие систем, ограничения: географические, метеорологические и др.); $\{\Delta T_s\}$ – системное время, т.е. период времени существования организационной формы S , влияющий на процесс целеобразования.

Далее систему S будем называть производственной системой.

Содержанием *третьего этапа* формирования является выделение различных сфер её деятельности. Основная сфера деятельности в ТП – реализация определённых технологических функций, осуществляемых обслуживаемым персоналом на этапах жизненного цикла: ввода в эксплуатацию; применение по назначению; поддержания установленной технической готовности к применению; снятие эксплуатации; утилизации.

Вторую сферу деятельности называют системой организационного управления [3]. Эта система обеспечивает контроль и управление основной сферой деятельности в ТП.

Разделение на две сферы деятельности, представленные в виде самостоятельных систем: организационного управления и основной деятельности, упрощает решение задачи структуризации целей и функций исследуемой системы.

Далее на *четвертом этапе* формирования следует определить структуру объектов управления (технические комплексы, технологическое оборудование, их технико-экономические показатели этапов эксплуатации) и выполнить ее анализ.

На *пятом этапе* формирования необходимо определить предварительную структуру системы организационного управления.

Анализ, в основу которого должна быть положена *методика структуризации целей и функций* рассматриваемой системы организационного управления [2, 3], составляет содержание *шестого и седьмого этапов* методики.

Важную роль при формировании и анализе целей играет структуризация целей и функций системы управления. В этой связи рассмотрим свойства *целей (функций)*, которые включают:

1) *Зависимость представления о цели и формулировки цели (функций) от стадии жизненного цикла объекта (процесса)*. Формулируя цель, нужно стремиться отразить в формулировке цели ее активную роль в управлении, сделать ее реалистичной, направить деятельность на достижение этой цели.

2) *Зависимость цели (функций) от внешних и внутренних факторов*. При анализе причин возникновения и формирования целей нужно учитывать, что на цель влияют как внешние по отношению к системе факторы (внешние требования, потребности, мотивы), так и внутренние (потребности, мотивы, программы самой системы и ее элементов, исполнителей целей).

3) *Возможность (и необходимость) сведения задачи формулирования обобщающей (общей, глобальной) цели к задаче ее структуризации*.

При формировании первоначального варианта структуры целей целесообразно руководствоваться содержанием организационного управления, определения функций, раскрывающих содержание процесса управления.

Функция как обособленный, относительно самостоятельный и специализированный вид управленческой деятельности направлена на формирование управляющего воздействия или непрерывных взаимодействий между субъектом и объектом управления для решения конкретной проблемы. В этой связи функция рассматривается как неотъемлемая часть процесса управления, имеющего пространственную и временную определенность и конечную результативность [4]. Исходя из этого, управленческие функции – это совокупность функций или процессов управления, появившихся в результате проведения функционализации управления и ориентированных на совокупность объектов управления.

Взаимосвязи целей и функций могут быть представлены в форме различных структур, и далее будем рассматривать иерархические структуры.

Для структуризации целей и функций будем использовать признак *различных видов деятельности в управлении технологическим процессом или типом используемого оборудования*. Применение этого признака основано на том, что производственные цепочки группируются по типовому (крупносерийное и массовое производство) или оригинальному технологическому процессу (мелкосерийное производство). В этом случае структуризация может быть осуществлена по типам оборудования (например, токарный или сборочный участки), по технологическому процессу или оборудованию [4].

Технологический процесс может реализовываться несколькими организационными формами производства (подразделения организации). Функции управления каждого подразделения распределяются по основным объектам ТП:

- управление ресурсами;
- управление технико-экономическими показателями;
- текущее (оперативное) управление ТП.

Иерархия элементов функции управления представлена на рис. 1. Управленческий цикл в организации рассматривают как последовательность общих (основных) функций управления, сформулированных А. Файолем (планирование, организация, мотивация и контроль) [4].

Конкретное содержание функции раскрывается совокупностью составляющих ее задач управления, которые, в свою очередь, являются структурообразующим элементом для состава организационных элементов СУ (табл. 1). Могут быть использованы следующие *этапы реализации задач*: постановка, сбор и анализ исходной информации, расчет, согласование, организация и принятие решения, контроль за исполнением. Этапы не зависят от специфики задач или их экономического содержания.

В табл. 2 приведены функции и основные задачи администрирования для руководителя подразделения [4].

Таблица 1
Функциональная матрица подразделения

	Функция	Задачи	Работы	Процедуры
Подразделение	+	+		
Начальник		+	+	+
Заместитель		+	+	+
Специалисты			+	+

Таблица 2

Функции и основные задачи администрирования

Функции	Задачи
Установление целей	Определение планового состояния ТП
Разработка стратегии	Определение правил достижения цели
Планирование работы	Определение задач конкретным исполнителям
Проектирование работы	Определение рабочих функций исполнителей
Мотивирование к работе	Целенаправленное воздействие на исполнителей
Координация работы	Согласование усилий исполнителей
Учет и оценка работы	Измерение результатов и их анализ
Контроль работы	Сопоставление результатов с целями
Обратная связь	Корректировка целей

Декомпозиция задач на множество работ, имеющих информационный характер, дает возможность более обоснованно оценить трудозатраты на их выполнение, уточнить информационные характеристики – структуру, объем, источники информации, форму и сроки получения и т.п. Работы группируются по видам информационных процессов:

- получение информации;
- преобразование формы информации;
- передача информации;
- получение новой информации;
- хранение информации;
- преобразование информации в действие.

Работы декомпозируются в *набор процедур*:

- конкретных действий по реализации перечисленных выше работ по преобразованию информации;
- организационные по формированию управленческого решения:
 - подготовка;
 - согласование;
 - принятие решения;
 - утверждение;
 - организация выполнения.

Последние могут иметь *неформализованный вид*, что не позволяет их автоматизировать.

Эффект целеобразования проявляется на каждом уровне иерархии, но при этом большая неопределенность расчленяется на более мелкие. Соответственно задача анализа средства и мотивов, влияющих на формирование обобщенной цели, расчленяется на подзадачи анализа более частных средств и мотивов на каждом уровне, которые становятся более реальными. Это позволяет получить согласованное решение на каждом шаге структуризации.

При формировании иерархий целей (функций) используют два подхода:

- формирование структуры «сверху» – методы структуризации, декомпозиции, целевой или целенаправленный подход;
- формирование структуры целей «снизу» – морфологический, лингвистический, тезаурусный подход методом «языка» системы.

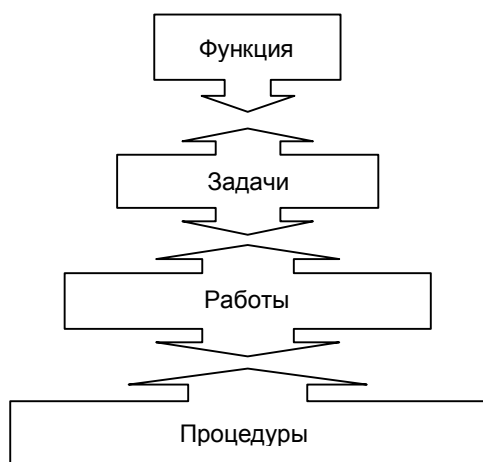


Рис. 1. Архитектура управленческих функций

Для того чтобы структура целей была удобной для анализа и организации управления, рекомендуется ее расчленение на каждом уровне делать соразмерным, а выделенные части – логически независимыми; признаки структуризации (декомпозиции) в пределах одного уровня должны быть едиными; число уровней иерархии и число компонентов в каждом узле не должно (в силу числа Колмогорова) превышать $K=7\pm 2$ [2];

На формирование АУОС оказывает влияние технологическая организация реализуемых процессов. Например, эти структуры определяются иерархией действий ТП: операция – функция – процесс – совокупность процессов, и разделением труда ТП. Последнее позволяет выделить в ТП как системе подсистемы со своей организацией (со своей организационной структурой).

С другой стороны, АУОС и технологическая организация ТП оказывают влияние на организационную структуру технических средств системы управления.

В качестве непосредственно влияющих на структуру факторов выступают производственная организация ТП и компоненты самого механизма управления – цели, принципы, методы управления (функции управления, их состав, содержание и объем, их организация).

Большее число исследователей приходят к выводу об приоритетном влиянии реального производственного процесса на организационные формы конкретных предприятий [3], т.е. в случае ТП фактор производственной организации ТП имеет приоритет в формировании структур управления ТП.

Наряду с факторами, действующими на структуру непосредственно, следует выделить те, которые влияют на структуру более опосредованно. К этой группе факторов относятся кадры, техника, технология управления, организация труда.

Последовательность влияния основных факторов на структуру управления должна учитываться на 2-5 этапах формирования АУОС.

В свою очередь, АУОС оказывает влияние на организационную структуру технических средств. Изложенное указывает на взаимосвязь организационных структур различных систем (ТП, АСУ ТП, программно-технического комплекса) как элементов производства как системы. Отсюда свойства (а при классификации признаки) ТП и АСУ ТП будут иметь место и у программно-технического комплекса АСУ ТП.

В табл. 3 приведены признаки структуризации, которыми следует руководствоваться для разных уровней системы организационного управления, используя их при формировании разных уровней структуры целей.

Таблица 3

Признаки структуризации целей и функции системы организационного управления

Признаки дерева целей	Признаки структуризации
Верхние уровни	Концепция системы сферы деятельности. Уровни иерархии существующей системы организационного управления
Средние уровни	Конечный результат реализации ТП Предметы деятельности. Виды деятельности «Жизненный цикл» Цикл управления
Нижние уровни	Технологическое оборудование ТП. Содержание информационных процессов. Реализация информационных процессов: кто, что, где, с помощью чего, когда и т.п.

Таким образом, рассмотрев ТП как процесс производственной системы, сферы ее деятельности, свойства целей, структуру функций управления, признаки структуризации целей и функций системы организационного управления, перейдем к рассмотрению методики структуризации целей и функций, основанной на концепции деятельности [2, 3], базирующейся на определении системы (1).

Методика включает два основных этапа (рис. 2), которые делятся на подэтапы (п.э.), а затем – наиболее детальные подэтапы (д.п.э.).

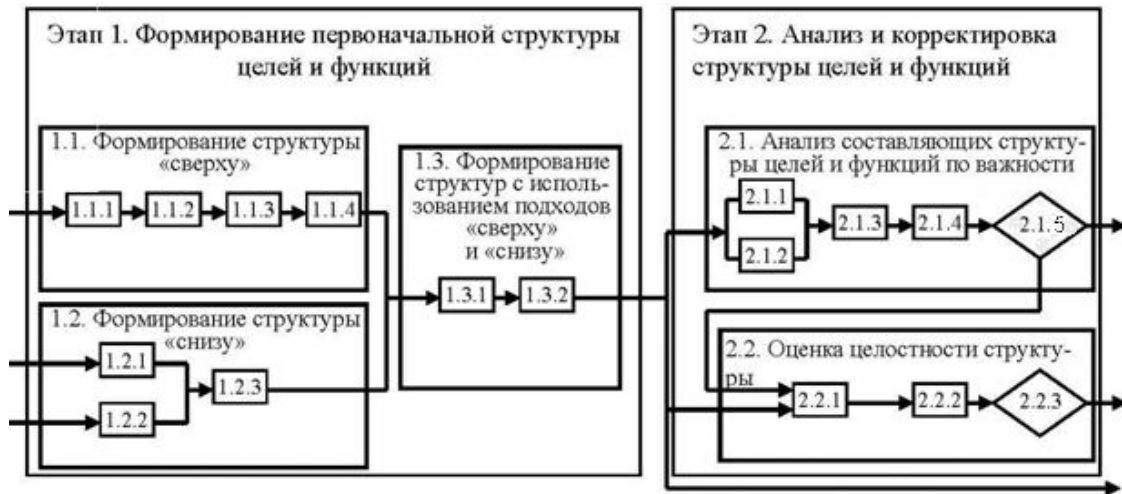


Рис. 2. Этапы формирования структуры целей и функции

При выполнении *этапа 1* предполагается исследование двух подходов (рис. 2) к формированию структуры: целевой – подход «сверху» (п.э. 1.1) и подход к формированию структуры «снизу» (п.э. 1.2).

При выполнении подэтапа 1.1 должно быть выбрано число уровней иерархии производственной системы (д.п.э. 1.1.1) с соответствующими наименованиями; в соответствии с вышепринятой концепцией деятельности используются признаки «сферы деятельности» (д.п.э. 1.1.2), «структура деятельности» и «вид деятельности» (д.п.э. 1.1.3); последующие уровни предполагается структурировать с использованием признаков, рекомендуемых для нижних уровней табл. 3 (д.п.э. 1.1.4).

В структуре деятельности должны быть выделены *цели* («входы»), *содержание и формы, методы, средства* («выходы»).

При выполнении подэтапа 1.2 (подход «снизу») предполагаемая структура целей и функций формируется с учетом различных уровней системы управления (д.п.э. 1.2.1) с учётом результатов анализа действующей документации (технологической, руководящей и т.д.) по эксплуатации технологического оборудования (д.п.э. 1.2.2); затем оценивается полнота охвата целей и функций (д.п.э. 1.2.3) и осуществляется объединение структур (д.п.э. 1.3.1), полученных при параллельном применении подходов «сверху» и «снизу» путем перераспределения полученных структур по составляющим предварительно сформированной структуры, далее принимается решение (д.п.э. 1.3.2) о целесообразности выполнения этапа 2.

При выполнении этапа 2 для оценки структуры целей и функций путем выявления наиболее значимых составляющих (п.э. 2.1) предполагается параллельное использование (д.п.э. 2.1.1) *экспертных оценок* и (д.п.э. 2.1.2) *косвенных качественных оценок*, в дальнейшем обрабатываемых совместно (д.п.э. 2.1.3). При обработке результатов оценки предполагается выявление *противоречивых мнений* с последующим содержательным их анализом.

На основе полученных результатов оценки далее проводим корректировку подходящей структуры (д.п.э. 2.1.4). При корректировке могут возникать вырожденные ветви, разные варианты новой структуры целей и функций. В этом случае переходим к подэтапу 2.2. Решение о целесообразности перехода к анализу структуры с точки зрения ее формы (п.э. 2.2) может быть принято (д.п.э. 2.1.5) для составления формы с аналогичными структурами целей, полученных при формировании основных направлений развития системы.

При оценке структуры (ее вариантов) с точки зрения ее формы и удобства для дальнейшего использования (подэтап 2.2) сопоставление вариантов структуры может быть произведено на основе вышерассмотренных закономерностей формирования целей, а также сформулированных при выполнении подэтапа 1.1.1 (д.п.э. 2.2.1) и с использованием для сравнительного анализа структур информационного подхода (подэтап 2.2.2).

Во втором случае оцениваем степень *целостности*, позволяющую судить об управляемости системы с помощью формируемой структуры целей, о степени централизации-децентрализации управления в системе.

Из рассмотренного следует, что могут быть использованы оба подхода к оценке вариантов структур, а затем получаемые результаты обобщаются (при этом надо добавлять подэтап 2.1.3).

Если на д.п.э. 1.3.2 было принято решение о необходимости вначале выполнить подэтап 2.2, то может быть введен д.п.э. 2.2.3 принятия решения о дальнейшей работе.

Этапы формирования структурных подразделений организационной формы производства реализуются традиционно [3, 4].

Формирование организационной структуры технических средств. Технические средства информационных технологий:

– индивидуальные средства (средства труда) персонала АУОС, они локальны и взаимодействуют между собой только под действием персонала АУОС (индивидуальные средства контроля, средства передачи информации и т. д.);

– техническая система, которая по запросу автоматически выполняет все необходимые функции информационных технологий для каждого сотрудника АУОС. В технической системе рабочие места для персонала АУОС называют автоматизированными рабочими местами (АРМ).

Далее технические средства АСУ ТП будем рассматривать как информационную систему (ИС).

Этапы формирования ОСТС технологического процесса в общем случае представлены на рис. 3.

Реализация функций управления, контроля и защиты ТП находит отражение в проектной технологической документации, поэтому *первым этапом* формирования структуры технических средств АСУ ТП должен быть этап ознакомления с этой документацией и выделения из неё перечисленных выше работ (рис. 1). При описании этих работ для материальных процессов и технологического оборудования можно использовать условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах по ГОСТ 21.404-85.

На *втором этапе* необходимо сформулировать концепцию технических средств как информационной системы (ИС):

– определить уровень рассмотрения ИС в рамках систем более высокого уровня АСУ ТП;

– определить совокупность укрупненных компонентов, принципиально необходимых для существования и функционирования исследуемой системы, т.е.

$$S_{ис} = [\{\Phi_{ис}\}, \{N_{ис}\}, \{C_{ис}\}, \{T_{фис}\}, \{C_{рис}\}, \{\Delta T_{ис}\}], \quad (2)$$

где $\{\Phi\}$ – структура работ, необходимых для решения задач; $\{N_s\}$ – множество элементов структур ИС (основной деятельности, организационной и т.п.), реализующих информационные процедуры; $\{C_{ис}\}$ – множество связей между структурными элементами ИС; $\{T_{фис}\}$ – совокупность технологий, реализующих ИС; $C_{рис}$ – условия (среда) существования ИС, т.е. факторы, влияющие на ее функционирование (ограничений: географических, метеорологических и др.); $\{\Delta T_{ис}\}$ – системное время, т.е. период времени жизненного цикла, влияющей на процесс функционирования.

Выделение различных видов обеспечений ИС является содержанием *третьего этапа*. В качестве основных выделяют техническое и программное обеспечение [1]. Последнее реализует организацию автоматизации информационных технологий. В промышленных информационных сетях в настоящее время производители выпускают оборудование для определённого вида технологий. Например, выпускают контроллеры под определённый стек протоколов (CAN, Modbus, Profibus, ...). Знание приоритета технологий позволяет сократить количество способов реализации технического оборудования. Далее будем рассматривать случай, когда техническое оборудование реализует различные по сложности ПО.

Заметим, что в ИС имеет место деятельность по её эксплуатации, реализуемая отдельным подразделением СУ ТП или централизованно подразделением более высокого порядка.

Процессы контроля, управления и защиты в основном реализуются информационным путём. Структура информационных связей и информационных форм сообщений между элементами АСУ ТП разрабатывались при формировании АУОС. Для образования этих информационных форм сообщений необходимо определить содержание информационных процессов, их формирующих. Это составляет содержание *четвёртого этапа*.

Определение элементов технического обеспечения ИС по процедурному назначению (рис. 1) является содержанием *пятого этапа*. При этом определяются технические устройства и средства связи между устройствами.

На *шестом этапе* формируется конечное множество конфигураций организационной структуры технических средств (ОС ТС).

Выбор способов технической реализации устройств и способов связей между устройствами, их совместимости осуществляется на *седьмом этапе*.

Определение критериев оценки конфигураций организационной структуры технических средств (ОС ТС) и ограничений на свойства ТС реализуется на *восьмом этапе*.

На *девятом этапе* решается задача выбора конфигурации, устройств и средств связи технической системы АСУ ТП.

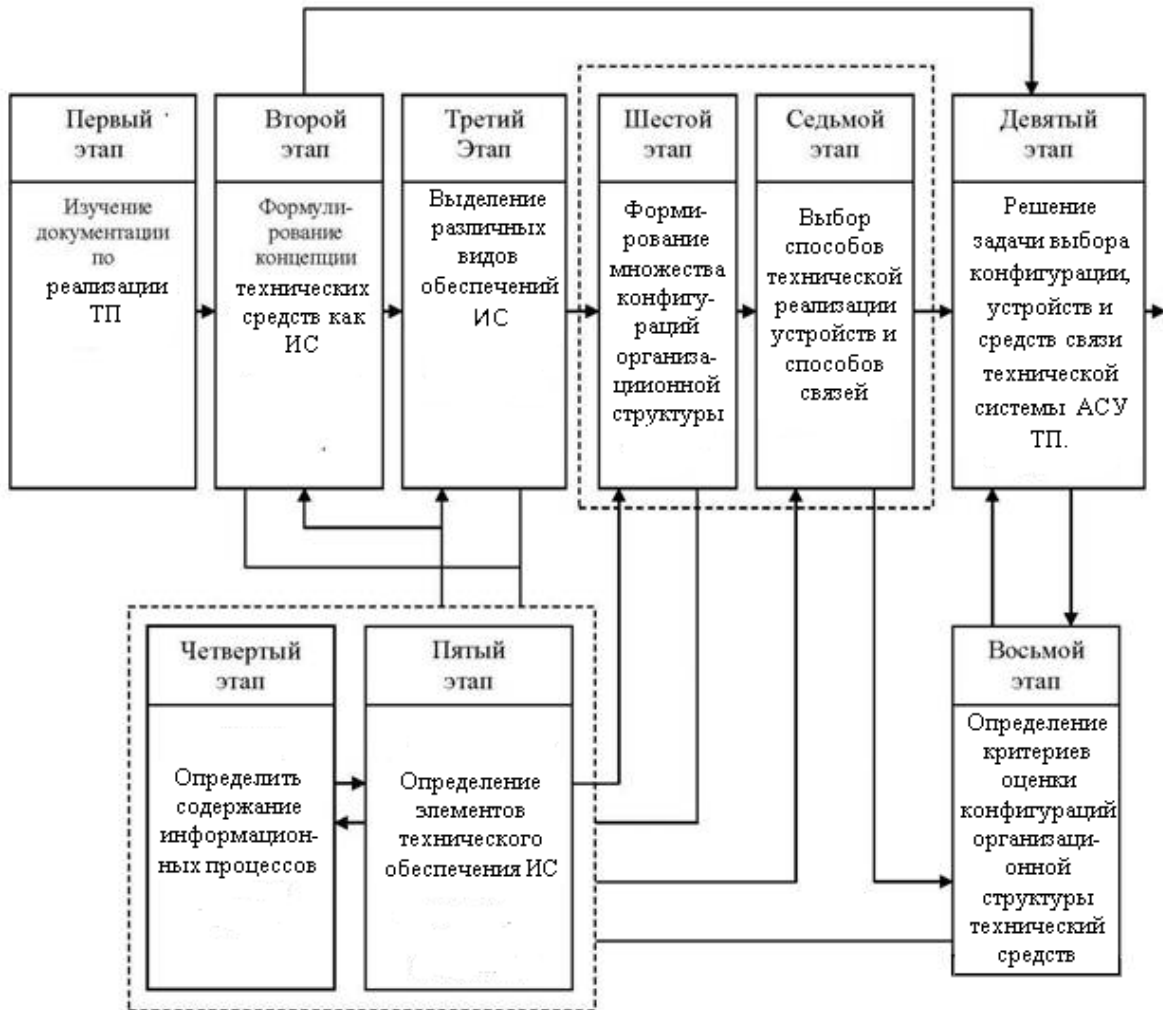


Рис. 3. Этапы формирования иерархической организационной структуры технических средств АСУ ТП

Заключение. Выделение АУОС и ОСТС в АСУ ТП упрощает решение задачи структуризации целей и функций АСУ ТП.

При формировании организационной структуры технических средств АСУ ТП для структуризации функций предлагается использовать признак *различных видов работ в управлении технологическим процессом*.

Формирование элементов какой-либо конфигурации организационной структуры технических средств определяется структуризацией работ информационных процессов.

Особенности формирования АУОС и ОСТС позволяет организовать определённый порядок принятия решений в задачах выбора при проектировании программно-технических средств автоматизации. Это отражено в предлагаемом содержании этапов формирования иерархической организационной структуры технических средств АСУ ТП.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 34. 003-90. Автоматизированные системы. Термины и определения.
2. Меньков А.В. Теоретические основы автоматизированного управления / А.В. Меньков, В.А. Острейниковский. М.: Оникс, 2005. 640 с.
3. Структура управления организацией и факторы, её определяющие [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?dir=2&tutindex=3&index=51&layer=2
4. Созинов В.А. Исследование систем управления. Сайт цифровых учебно-методических материалов ВГУЭС / В.А. Созинов // abc.vvsu.ru, [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://abc.vvsu.ru/Books/issled_sist_upr/default.asp

Чередников Андрей Андреевич –
студент Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Andrey A. Cherednikov –
Undergraduate
Gagarin Saratov State Technical University

Тырин Евгений Александрович –
студент Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Eugeny A. Tyrin –
Undergraduate
Gagarin Saratov State Technical University

Чуркин Геннадий Максимович –
доцент кафедры «Техническая кибернетика
и информатика» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Gennady M. Churkin –
Ph. D., Associate Professor
Department of Engineering Cybernetics
and Informatics
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 01.04.12, принята к опубликованию 06.09.12

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 631.563.2: 664.6/.7

Е.В. Воронова, И.О. Павлов, Т.В. Гладких

РЕЗУЛЬТАТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

Рассматривается проблема определения параметров математической модели, возникающая при построении математических моделей, возврат к которой может осуществляться постоянно на любом этапе математического моделирования. Данный подход дополняет экспериментальный метод определения теплофизических параметров математической модели, позволяет сделать предположение об интервалах изменения параметров математических моделей, правильно спланировать эксперимент для их определения.

Эксперимент, математическое моделирование, сушка, функциональная модель, дисперсная среда

E.V. Voronova, I.O. Pavlov, T.V. Gladkih

SIMULATION OUTCOMES OF DRYING THE DISPERSED MEDIA

The paper considers the problem of determining the parameters of mathematical models arising during the construction of mathematical models which allow returning to be carried out continuously, and at any stage of the mathematical modeling. Such approach complements the experimental method of determining thermophysical parameters of the mathematical model, make assumptions relating the intervals causing changes in the parameters of the mathematical models, and make plans regarding the experiment for their determination.

Experiment, mathematic modeling, drying, functional model, disperse media

Для исследования процесса сушки дисперсных сред использовалась модифицированная экспериментальная установка, основанная на материалах ВНИИЗ [1], которая оснащена системами автоматического регулирования температуры и расхода сушильного агента, измерения и записи температуры зерна в контрольных точках. Влажность высушенного зерна определялась методом высушивания проб в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 403 К в течение 40 минут.

В установке моделировалось смешанное противоточно-прямоточное продувание зернового слоя путем запрограммированного изменения направления агента сушки. Установка состояла из вертикальной цилиндрической сушильной камеры, кольцевой системы воздухопроводов, распределителя воздуха на четыре прохода, нагнетательного центробежного вентилятора, калорифера. Сушильная камера секционирована по высоте. В четырех секциях устанавливались четыре съемные кассеты, в каждой из которых толщина зернистого слоя составляла 100 мм. Общая высота камеры 0,5 м. Диаметр камеры – 0,4 м. Это дало возможность практически устранить пристеночный эффект, так как соотношение диаметров камеры и зерен пшеницы превышало критическое, равное 16... 20. По высоте сушильной камеры для каждой кассеты были приварены герметично закрывающиеся штуцеры, через которые определяли температуру и влажность зерна.

Влажность высушенного зерна определялась методом высушивания проб в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 403 К в течение 40 минут.

Исследования процесса сушки проводили в следующих диапазонах изменений технологических параметров: скорость сушильного агента – 4,0...6,5 м/с; температура сушильного агента

393...403 К; влагосодержание сушильного агента 0,005...0,025 кг/кг. В пределах каждого опыта технологические параметры принимали фиксированные значения.

Проведена серия экспериментов с различными параметрами агента сушки и значениями начальной влажности зерна. Результаты математического моделирования сопоставлялись с результатами проведенных экспериментов.

Для проведения опытов установка выводилась на заданный режим работы путем ее прогрева горячим воздухом в течение 30 минут. В таблице представлены результаты экспериментов.

Результаты экспериментов

Время	$v = 0.4 \text{ м/с}, T_{\text{с.а.}} = 383 \text{ К}, x = 0.015 \text{ кг/кг}$		$v = 1.6 \text{ м/с}, T_{\text{с.а.}} = 383 \text{ К}, x = 0.010 \text{ кг/кг}$		$v = 3.2 \text{ м/с}, T_{\text{с.а.}} = 383 \text{ К}, x = 0.012 \text{ кг/кг}$	
	U	$T_{\text{зерна}}$	U	$T_{\text{зерна}}$	U	$T_{\text{зерна}}$
0	0.274	293	0.258	293	0.258	346
6	0.255	305	0.245	307	0.240	352
12	0.238	316	0.232	318	0.223	355
18	0.226	320	0.223	321	0.212	360
24	0.222	327	0.209	328	0.202	364
30	0.214	329	0.202	332	0.191	370
36	0.203	335	0.195	337	0.184	373
42	0.201	337	0.190	338	0.178	375
48	0.196	339	0.184	342	0.170	377
54	0.194	345	0.178	345	0.167	380
60	0.190	349	0.174	349	0.163	380
66	0.179	351	0.165	352	0.161	380
72	0.171	351	0.160	352	0.157	380

где v – скорость сушильного агента, м/с; $T_{\text{с.а.}}$ – температура сушильного агента, К; x – влажность сушильного агента, кг/кг; U – влагосодержание зерна, кг/м³; $T_{\text{зерна}}$ – температура зерна, К.

Составим функциональную модель процесса сушки дисперсных сред с помощью IDEF3-технологии, которая приведена на рис. 1. Для решения поставленной задачи будем использовать системный подход. Первым звеном в функциональной модели является блок «Экспериментальные исследования процессов». Входными данными для данного блока является массив измеряемых значений, полученных с объекта исследования. Декомпозируем изучаемую систему на подсистемы. Одним из первых этапов при описании данных статическими параметрами является разбиение экспериментальных данных на различные области выборки [2].

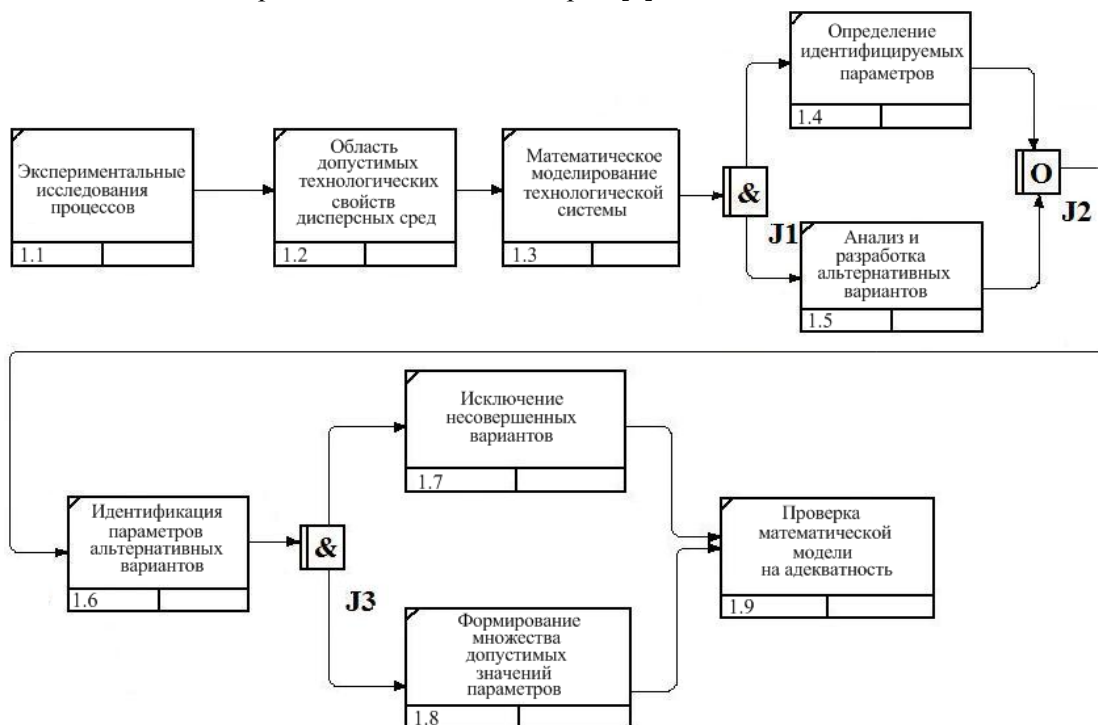


Рис. 1. Функциональная модель процесса сушки дисперсных сред: J1 – формирование задачи; J2 – синтез решений; J3 – анализ и выбор оптимальных решений

Математическое моделирование технологической системы (1.3) и Идентификация параметров альтернативных вариантов (1.6) разделяется на два одновременно происходящих действия J1 (1.4 и 1.5) и J3 (1.7 и 1.8), но 1.6 не может начаться, пока не закончатся два предыдущих J2. В конце проверяем математическую модель на адекватность.

С позиций теории информации и системного подхода математическую модель можно интерпретировать как функциональный оператор Φ , отображающий функциональное пространство входных переменных X в пространство переменных состояния самой системы и пространство значений выходных переменных Y .

Если все выходные параметры изучаемой системы обозначить через Y , а все входные – соответственно через X , то процесс моделирования сводится к переработке входной информации в выходную и установлению вида математической зависимости между выходными и входными параметрами системы:

$$Y = \Phi(X, Z, U),$$

где Z – возмущающие воздействия; U – управляющие воздействия.

Определение параметров математической модели является сложным процессом, возврат к которому может осуществляться на любом этапе математического моделирования. Среди методов определения параметров математической модели выделяют как экспериментальные, так и аналитические методы, позволяющие уточнять требования к проведению экспериментов. Подвижный слой влажного зерна рассматривается как сплошная среда, когда исследованию подлежит температурное поле и поле влагосодержаний, скорость сушки зерна.

Для нахождения параметров могут использоваться методы: вариации параметров, переменных направлений, деформированного многогранника, для реализации которых необходимо создание информационной системы, позволяющей в диалоговом режиме по данным эксперимента осуществлять определение значений параметров математической модели процесса сушки зерна [3, 4].

Контроль над процессом оптимизации параметров осуществляется по трём критериям: визуальное наблюдение за приближением к экспериментальным значениям, коэффициенту детерминации и средней ошибки аппроксимации.

После завершения работы варьирования параметров с удовлетворительными результатами получим окончательный вид рабочего поля окна «Метод вариации параметров» (рис. 2).

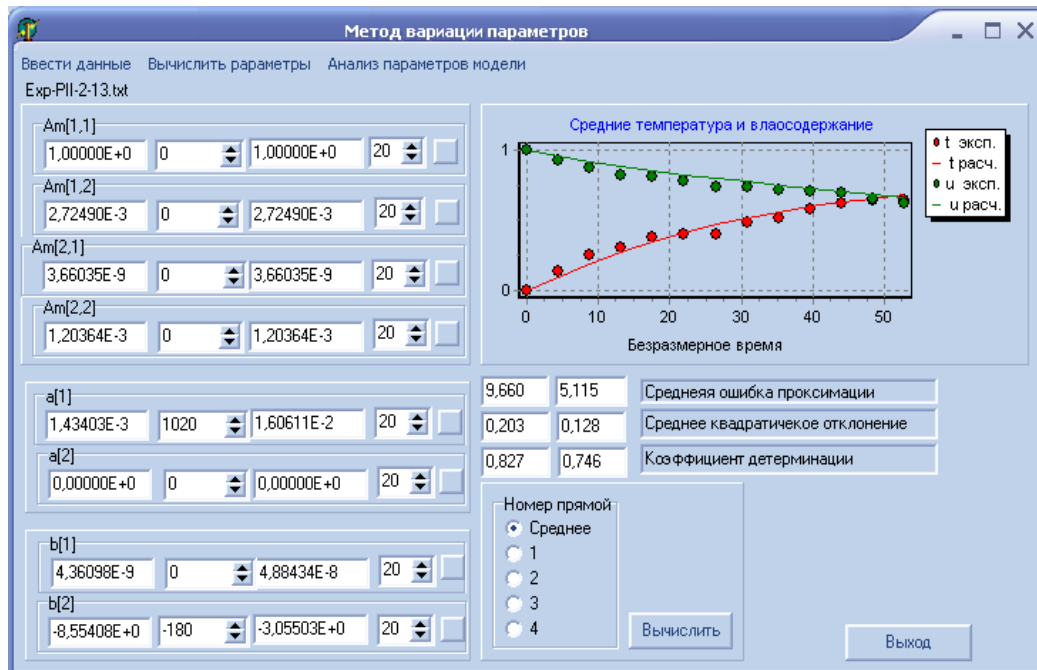


Рис. 2. Окончательный вид рабочего поля окна «Метод вариации параметров»

На рис. 3 представлены экспериментальные кривые нагрева и сушки зерна пшеницы при различных значениях режимных параметров. Методом графического дифференцирования получены кривые скорости сушки зерна (рис. 4). Процесс сушки осуществляется во втором периоде, о чем свидетельствуют кривые сушки и кривые скорости сушки зерна (рис. 3, 4). Это дает основания утверждать о правильной организации эксперимента и его адаптации к промышленным шахтным зерносушилкам серии ДСП, в которых процесс сушки осуществляется в непрерывном режиме [4].

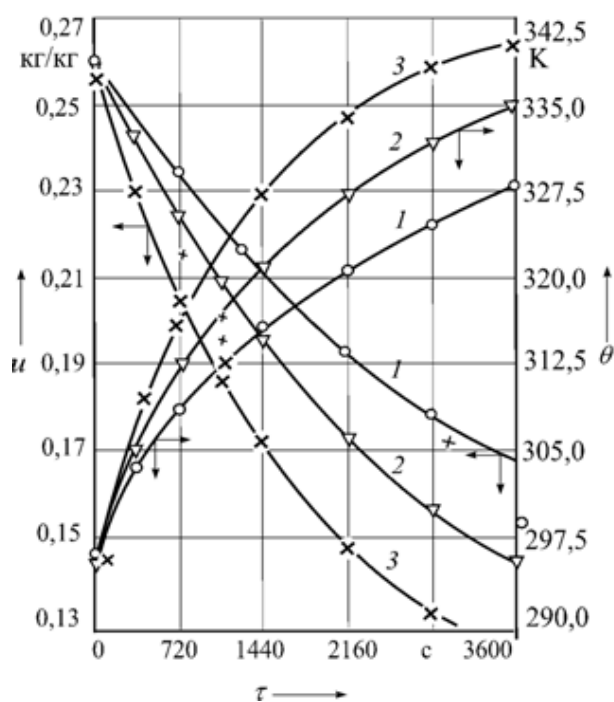


Рис. 3. Кривые нагрева и сушки зерна: $v = 5,5$ м/с; $u = 0,26$ кг/кг; $x = 0,007$ кг/кг; T, K : 1 – 413; 2 – 423; 3 – 433

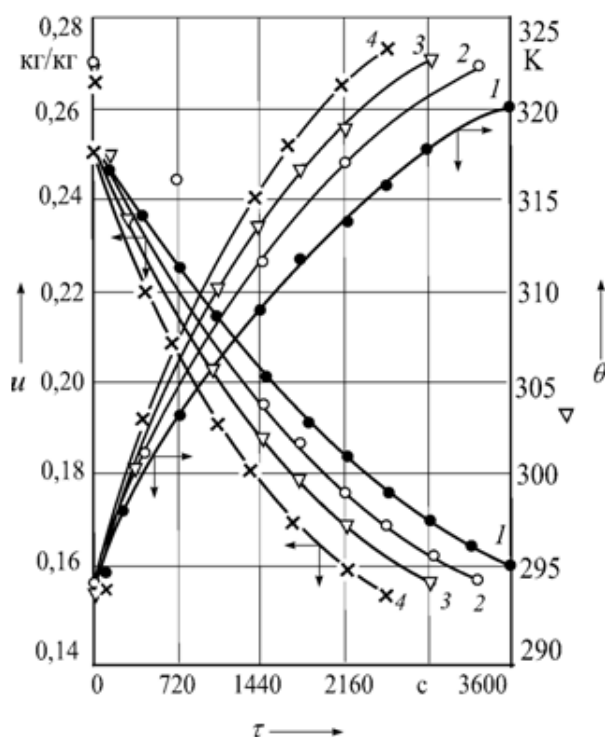


Рис. 4. Кривые нагрева и сушки зерна: $v = 6,0$ м/с; $u_n = 0,25$ кг/кг; $T = 403$ К; $x \cdot 10^{-3}$, кг/кг: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20

С учетом требований разработки технологических режимов сушки зерна пшеницы в шахтных зерносушилках нами были проанализированы соотношения между температурой зерна и его влажностью в процессе сушки при различных значениях скорости, температуры и влагосодержания сушильного агента. Для этого по опытным данным, представленным в виде кривых сушки $W = f(\tau)$ и прогрева $T = f(\tau)$ были построены температурные кривые, представляющие собой зависимость температуры зерна от его влажности (рис. 5).

На рис. 5 показана область соотношения температуры и влажности зерна пшеницы по рекомендациям профессора Жидко В.И. [1]. Обобщенная температурная кривая, полученная нами на экспериментальной установке, лежит ниже известного ограничения, поэтому соответствующие ей режимы можно использовать без ущерба качеству высушиваемого зерна.

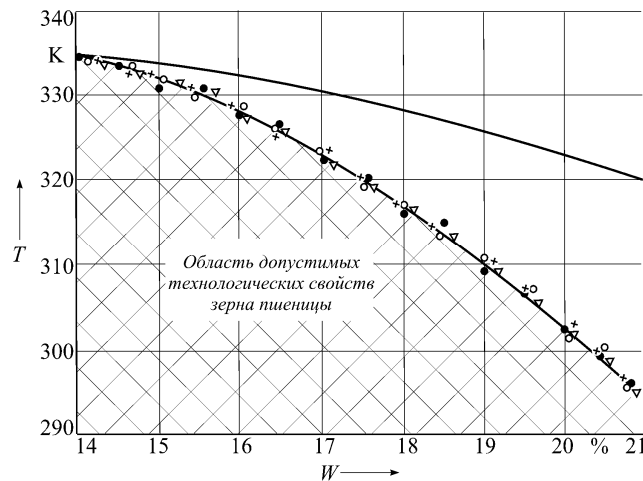


Рис. 5. Зависимость между средней температурой нагрева и влажностью зерна:
 1 – кривая по рекомендациям проф Жидко В.И. [1]; 2 – экспериментальная кривая:
 ●- режим: $T = 423$ К; $v = 6,0$ м/с; $x = 0,007$ кг; $W_n = 20,5$
 ×- режим: $T = 423$ К; $v = 6,0$ м/с; $x = 0,010$ кг; $W_n = 21,0$
 ○- режим: $T = 403$ К; $v = 6,0$ м/с; $x = 0,005$ кг; $W_n = 20,5$
 ▽- режим: $T = 410$ К; $v = 6,0$ м/с; $x = 0,005$ кг; $W_n = 21,5$

Идентификация математической модели проводилась путем минимизации суммы квадратов отклонений расчетных и экспериментальных значений влагосодержаний и температур зернового слоя в местах отбора проб для всех режимов. Идентифицируемыми параметрами являлись коэффициенты теплообмена A и массообмена B .

Численный эксперимент в соответствии с программным модулем расчета процесса сушки в шахтной прямоточной зерносушилке на языке *Delphi* позволил найти значения $A = 0,329$ кДж/(м³·К·с) и $B = 4,05 \cdot 10^7$ м/с, которые обеспечили наилучшую сходимость расчетных и экспериментальных данных. Их отклонение по абсолютному значению не превышало 12,5 %.

По экспериментальным данным, полученным на модельной установке [1], определены параметры математической модели сушки, позволившие получить решение, варьировали только коэффициенты α и β . Средняя ошибка аппроксимации составила 9,343 % для температуры и 5,115 % для влагосодержания, среднее квадратическое отклонение, соответственно 0,203 и 0,28 и коэффициент детерминации 0,840 и 0,746.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жидко В.И. Зерносушение и зерносушилки / В.И. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов. М.: Колос, 1982. С. 239.
2. Вендров А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / А.М. Вендров. М.: Протектор, 2005. С. 305.
3. Павлов И.О. Построение детерминированной математической модели процесса сушки / И.О. Павлов, Е.В. Воронова, Т.В. Гладких // Вестник ВГТА. 2010. № 2 (44). С. 50-53.
4. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых производств / А.С. Гинзбург // М.: Пищевая пром-ть, 1973. С. 243.

Воронова Елена Васильевна – кандидат технических наук, программист Центра новых информационных технологий Воронежского государственного университета инженерных технологий

Elena V. Voronova – Ph. D., Programmer
Center for Advanced Information Technologies
Voronezh State University of Engineering Technology

Павлов Игорь Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии моделирования и управления» Воронежского государственного университета инженерных технологий

Igor O. Pavlov – Ph. D., Associate Professor
Department of Information Technology Modeling and Management
Voronezh State University of Engineering Technology

Гладких Татьяна Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии моделирования и управления» Воронежского государственного университета инженерных технологий

Tatiana V. Gladkih. – Ph. D., Associate Professor
Department of Information Technology Modeling and Management
Voronezh State University of Engineering Technology

Статья поступила в редакцию 15.07.12, принята к опубликованию 06.09.12

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.21.004.17 : 004

В.Г. Ерёмин, Као Ван Лам

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Одной из важнейших характеристик сооружений является транспортно-эксплуатационное состояние (ТЭС) мостового полотна, определяющее характер и условия движения по мостовому сооружению, ТЭС оценивается в соответствии с износом отдельных элементов мостового полотна. Процесс определения износа и оценки условий движения является трудоемкой задачей, требующей высокой квалификации исследователя и неоднократного обращения к базе данных по оценке износа отдельных элементов. Для определения износа мостовых сооружений и условия движения создана автоматизированная программа с целью сокращения трудоёмкости и снижения влияния квалификации и субъективного мнения специалиста, занимающегося обследованием сооружений.

Автоматизация, износ, частный износ, определение износа, условие движения, мостовое полотно, эксплуатация, транспортно-эксплуатационное состояние

V.G. Eremin, Cao Van Lam

EVALUATION OF TRANSPORTATION AND AUTOMATION CONDITION OF BRIDGES

One of the most important characteristics of structures is its transport and operation conditions of the deck which determines the nature and conditions of traffic on bridges. The conditions are assessed according to the wear of individual elements of the deck. The process of determining and assessing traffic conditions is a laborious task that requires high skills and continuous requests to the database in order to assess the wear of the individual elements. To determine the wear of bridges and traffic conditions an automated program has been created to reduce the labor costs, impact of the qualifications factor, and the subjective opinion of a professional inspecting the facilities.

Automation, wear, definition of wear, conditions of motion, bridge painting, maintenance, transportation and operating conditions

Введение

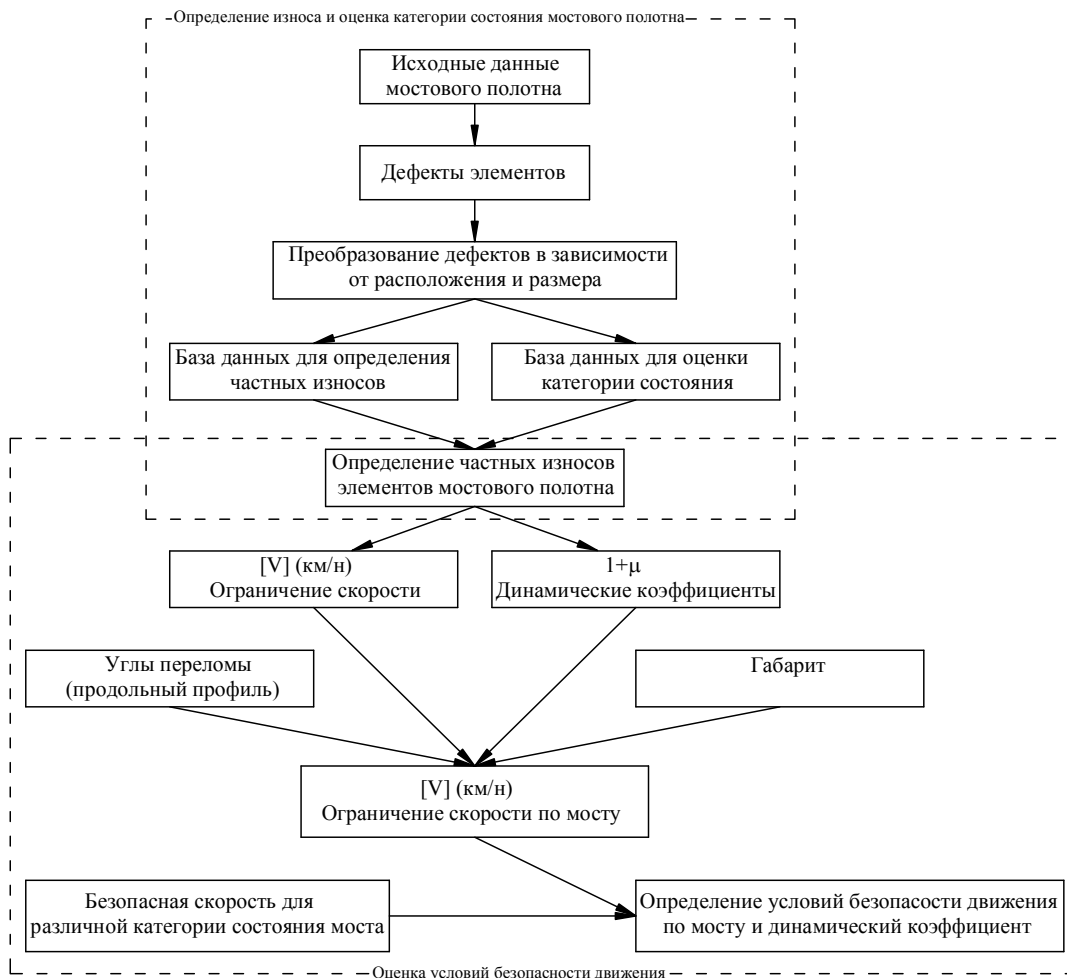
Показатель физического износа сооружения является наиболее удачной интегральной эксплуатационной характеристикой, увязанной с прогнозируемым остаточным ресурсом, резервом несущей способности и надёжностью сооружения в целом. Он предназначается для оценки изменения технического состояния конструкций во времени, а также для качественной оценки состояния различных строительных конструкций и выбора метода ремонтно-восстановительных работ. Кроме того, показатель физического износа мостового полотна является базой для оценки транспортно-эксплуатационного состояния (ТЭС) при эксплуатации мостовых сооружений. Показателями ТЭС являются безопасная скорость движения $[V]$ и величина перегрузки элементов мостового сооружения, представленная значениями динамического коэффициента $(1+\mu)$ к осевой нагрузке. Величины $[V]$ и динамический коэффициент $(1+\mu)$ зависят от величины износа элементов мостового полотна. Автоматизация оценки износа и категории износа железобетонных пролетных строений автодорожных мостов представлены в [8]. В данной статье продолжено направление автоматизации оценки износа и оценки условия движения при эксплуатации мостовых сооружений.

В [8] приводится методика определения износа разрезных железобетонных балочных пролетных строений. В данной статье предлагается автоматизация оценки износа элементов мостового полотна и оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений. Алгоритм программы, позволяющий их определять, представлен на рисунке.

1. Автоматизация определения износа и оценки категории состояния мостового полотна

В жизненном цикле мостового сооружения наиболее продолжительной является стадия *эксплуатации*. Срок службы моста в значительной степени зависит от режима его эксплуатации, т.е. организации обслуживания и обеспечения своевременного проведения ремонтных работ. В течение эксплуатации должна поддерживаться постоянная работоспособность сооружения при воздействии движения автотранспортных средств, погодных-климатических и техногенных изменений окружающей среды. Под влиянием природно-климатических, техногенных факторов и старения материалов происходит *физический износ* конструкций.

В блоке «*Определение износа и оценка категории состояния мостового полотна*» с помощью табличного процессора Excel износ мостового полотна определен по показателям износа отдельных элементов в соответствии с его классификационными частными износами и с использованием коэффициентов значимости, приведенных в [2]. При воздействии движения автотранспортных средств, погодных-климатических и техногенных изменений окружающей среды в элементах мостового полотна, а также конструкции мостовых сооружений возникают и развиваются повреждения (дефекты), зависящие от качества заводского изготовления, технологии строительства, применяемых материалов и способности их сопротивления к старению. По результатам величины размеров дефектов рассчитываются частные износы в процентах для 8 элементов мостового полотна (табл. 1): покрытия, гидроизоляции, системы водоотвода, тротуаров, перил, деформационных швов, ограждений безопасности и сопряжений с насыпью. Основой для определения частного износа элемента является база данных, взятая из ОДМ 218.0.018-03 [3] и помещенная в блок-схему программы. При помещении величины размера дефектов в таблицу дефектов автоматически заполняются столбцы 3, 4, 5 табл. 1, характеризующие износ элемента.



Алгоритм автоматизированной программы определения износа элементов мостового полотна и оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений

При назначении работ по оценке результатов износа следует ориентироваться на следующие пороговые значения износа мостового полотна и категории его состояния в соответствии методикой [2], которые помещены в отдельную базу:

- категория состояния 0 – $I_1 \leq 2\%$; требуются затраты только на нормативное содержание;
- категория состояния А – $I_2 \leq 10\%$; требуются сверхнормативные затраты на проведение профилактических работ;

– категория состояния Б – $I_3 \leq 40\%$; ликвидация износа осуществляется при проведении плано-предупредительных работ по восстановлению отдельных элементов;

– категория состояния В – $I_4 \leq 70\%$; ликвидация износа осуществляется за счет восстановления и замены большего числа элементов; работы выполняют за счет средств на ремонт мостовых сооружений;

– категория состояния Г – $I_5 > 60-80\%$; требуется реконструкция сооружения, так как полная замена элементов пролётного строения более выгодна, чем их восстановление.

При оценке подсчитанного по износам элементов износа мостового полотна в целом его относят к пяти состояниям: О, А, Б, В, Г (столбец 6 табл. 1).

Таблица 1

Результат расчёта износа и категории состояний мостового полотна

ИЗНОС МОСТОВОГО ПОЛОТНА					
№	Элемент мостового полотна	Частный износ I_i , %	Коэфф. значимости γ_i	Слагаемые для определения износа мостового полотна	Категория состояния по критерию
					И
1	2	3	4	5	6
1	Покрытие	20.00	0.12	2.40	Б
2	Гидроизоляция	40.00	0.35	14.00	Б
3	Система водоотвода	30.00	0.10	3.00	Б
4	Тротуары	40.00	0.19	7.60	Б
5	Перила	60.00	0.07	4.20	В
6	Деформационные швы	40.00	0.05	2.00	Б
7	Ограждения безопасности	34.00	0.04	1.36	Б
8	Сопряжения с насыпью	40.00	0.08	3.20	Б
Итого $\sum I_i \gamma_i$			1.00	37.76	В
Категория состояния принятая					В

Используя указанную классификацию из примера в табл. 1, можно сделать следующий вывод: наибольшая категория состояния по рассмотренному признаку одинакова (В) и свидетельствует о необходимости восстановления и замены большего числа элементов; работы выполняют за счет средств на ремонт мостовых сооружений. Показатели износа мостового полотна используются для оценки общего износа мостового сооружения и его категории технического состояния.

2. Автоматизация оценки условий безопасности при эксплуатации мостовых сооружений

Транспортно-эксплуатационными показателями являются безопасная скорость движения $[V]$, величина перегрузки элементов мостовых сооружений, представленная значениями динамического коэффициента $(1+\mu)$ к осевой нагрузке. Величины $[V]$ и $(1+\mu)$ зависят от дефектов, т.е. износа элементов, являющегося одной из многих причин, влияющих на условия безопасности движения. К таким дефектам относятся: выбоины, наплывы, колеяности, провал в покрытии, просадки, сдвиги, гребенки, волны, сколы, раковины, шелушение, разрушение бетона, отсутствие защитных решеток, нарушение и повреждение окраски деформационных швов (ДШ), коррозия, трещины (продольные и поперечные). Опираясь на оценку износа элементов мостового полотна в автоматизированном режиме, предложено определять безопасную скорость движения, динамический коэффициент и категорию транспортно-эксплуатационного состояния (рисунок). Результаты данных определений трансформируются в виде числовых значений столбцов 5, 6, 7 табл. 3.

Влияние продольного профиля на условия движения проявляется в появлении вертикальных ускорений автомобилей и, как следствие, дополнительных нагрузок на несущие конструкции. Перегрузки от нарушения плавности движения при наличии углов перелома над опорами воспринимаются плитой проезжей части и несущими конструкциями. При этом с увеличением углов перелома возрастает динамический коэффициент при неизменной скорости или снижается допустимая скорость, при которой неизменной остается величина перегрузки. Из результата определения динамического коэффициента в столбце 7 в табл. 3 и а также взамен требований к оценке безопасности движения сооружений, приведенной в ОДМ 218.017-2003 [2], значения безопасных скоростей движения при различных углах перелома определены в столбце 3 табл. 3.

Проблема оценки влияния габарита мостов на скорость движения автомобилей представляется как элемент общей проблемы обеспечения единообразных условий движения на дороге, причем для выравнивания скоростей на дороге и мосту требуется ввести в габарит полосы безопасности, ширина которых, как и размер полосы движения, зависит от расчетной интенсивности. ОДМ 218.017-2003, по которой допускается определить скорость безопасности движения и оценивать условие движения на дороге. Значения безопасных скоростей приведены в ОДМ для различных фактических габаритов и часовой интенсивности движения автомобилей. При этом значения $[V]$ даны для трех случаев, отличающихся длиной мостового сооружения, а именно $150 \geq L \geq 50$ м, $L > 150$ м и $L < 50$ м. Значения безопасных скоростей движения по «узким» мостам используют для оценки состояния по критерию «безопасность»; ограничения скоростей движения на мостовых сооружениях. Отсюда ограничение скорости при различных фактических габаритах и часовой интенсивности движения автомобилей определено в столбце 8 табл. 3.

Из результатов определения безопасных скоростей и динамического коэффициента в соответствующем общем подходе к оценке состояния сооружений и планированию работ по содержанию и ремонту [4] транспортно-эксплуатационное состояние может быть отнесено к одной из пяти категорий состояния (табл. 2). Его оценка дается с целью определить, к какой нормируемой группе (ТЭС) относится сооружение, исходя из условий безопасности движения, установить, какие меры следует предпринимать для его улучшения.

Таблица 2

Безопасная скорость для различной категории состояния моста

Категория дороги	Расчетные скорости, км/ч	Безопасные скорости $[V]$, км/ч, при категориях состояния				
		О	А	Б	В	Г
Ia	150	>150	150-130	$130 > [V] \geq 110$	$110 > [V] \geq 40$	<40
Iб, II	120	>120	120-100	$100 > [V] \geq 80$	$80 > [V] \geq 30$	<30
III	100	>100	100-90	$90 > [V] \geq 70$	$70 > [V] \geq 25$	<25
IV	80	>80	80-70	$70 > [V] \geq 50$	$50 > [V] \geq 20$	<20
V	60	>60	60-55	$55 > [V] \geq 40$	$40 > [V] \geq 10$	<10
Оценка (по пятибалльной системе)		5	4	3	2	1

О – обеспечен комфортный проезд; А – обеспечена плавность движения, при которой не требуется снижения скорости движения. При состоянии, относящемся к категориям О и А, скорости движения не снижаются. На мосту выполняются нормативные работы по уходу; Б – не обеспечена плавность движения, из-за чего требуется снижение скорости движения до уровня, установленного экономическими соображениями (оценка «посредственно»). При состоянии, относящемся к категории Б, незначительно ограничивают скорости движения до величин, указанных в табл. 2. На мосту выполняются профилактические работы, предусмотренные в документах [5] и [6]; В – не обеспечена плавность движения и не обеспечены скорости, установленные экономическими соображениями, в связи с чем условия движения характеризуются как «повышенной опасности» (оценка «неудовлетворительно» по пятибалльной системе); При состоянии, относящемся к категории В, существенно ограничивают скорость движения. На мосту выполняются восстановительные работы в соответствии с [5] и [6] – ремонт элементов мостового полотна, что относится к содержанию мостового сооружения (планово-предупредительные работы); Г – «аварийное» транспортно-эксплуатационное состояние. При состоянии, относящемся к категории Г, пересматривают организацию движения или движение по МС должно быть закрыто. Требуется выполнение работ по замене элементов мостового полотна (их переустройству) либо ремонту пролетных строений.

В процессе эксплуатации должно еще поддерживаться состояние элементов, обеспечивающее плавный проезд автомобилей. Предельный износ элементов, соответствующий аварийному транспортно-эксплуатационному состоянию составляет:

- покрытием – $I > 80\%$; на период до закрытия $V = 10$ км/ч;
- сопряжением – $I > 80\%$; на период до закрытия $V \leq 10$ км/ч;
- системой водоотвода – $I > 80\%$; на период до закрытия $V = 10$ км/ч.

Выводы

1. Предложена программа по автоматизированной оценке степени износа мостового полотна, позволяющая значительно снизить трудозатраты и влияние субъективности мнения специалиста на конечный результат.

2. На основе износа отдельных элементов мостового полотна определяются основные транспортно-эксплуатационные показатели мостового сооружения – безопасная скорость движения, динамический коэффициент и категория условий движения.

3. Программа позволяет по оценке транспортно-эксплуатационного состояния установить уровень содержания и виды ремонтных работ, необходимые в ближайший период эксплуатации.

Таблица 3

Результат определения условия движения и динамического коэффициента при использовании результатов диагностического мониторинга мостовых сооружений

ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ									
Наименование сооружения		Путепровод через железную дорогу «Москва - Астрахань» км 192+320							
Категория интенсивности		III; 1100(авт/ч)							
Габарит, м		Г-9,5+0,8+0,75							
Ограждение безопасности									
Тип, высота, м		Барьерное; 0,5							
№	Элемент мостового полотна	Ограничение скорости при различных углах переломов в профиле проезжей части [V] км/ч	Частный износ Ii, %	Безопасная скорость движения с учетом износа различных элементов мостового полотна	Характеристика условий движения с учетом износа различных элементов мостового полотна	динамический коэффициент (1+□)	Ограничение скорости при различных фактических габаритах и часовой интенсивности движения автомобилей [V] км/ч	Безопасная скорость движения с учетом дефектов [V] км/ч	Динамический коэффициент (1+□)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Покрытие	150.00	20.00	150.00	О	1.10	145.26		
3	Система водоотвода	-	30.00	100.00	А	-			
4	Деформационные швы	150.00	40.00	100.00	А	1.25			
5	Ограждения	-	34.00	86.00	Б	-			
6	Сопряжения с насыпью	150.00	40.00	100.00	А	1.20			
Принятые значения		150		150.00	Б	1.25	145.26	86.00	1.25
Условия движения								Б	1.25

ЛИТЕРАТУРА

1. ВСН 4-81(90). Инструкция по проведению осмотров мостов и труб на автомобильных дорогах / Минавтодор РСФСР. М.: Транспорт. 1990. 35 с.
2. ОДН 218.017-2003. Руководство оценки транспортно-эксплуатационного состояния мостовых сооружений / Росавтодор. М.: 2003. 24 с.
3. ОДМ 218.0.018-03. Методика определения износа конструкций и элементов мостовых сооружений на автомобильных дорогах / Росавтодор. М., 2003. 104 с.
4. Концепция улучшения состояния мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России (на период 2002-2010 гг.). М.: ГСДХ России (Росавтодор), 2002. 45 с.
5. Методические рекомендации по содержанию мостовых сооружений на автомобильных дорогах / Росавтодор Минтранса России. М., 1999.
6. Классификация работ по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования. Распоряжение Росавтодора № ИС-5р от 03.01.02. М., 2002.
7. Шестериков В. И. Оценка и прогнозирование состояния мостов на автомобильных дорогах в системе управления их эксплуатацией: автореф. дис.... д-ра тех. наук: 05.23.11 защищена 2004: Владимир Иванович Шестериков. М., 2004. 45 с.
8. Еремин В.Г. Автоматизация оценки износа железобетонных пролетных строений автодорожных мостов / В.Г. Еремин, Ван Лам Као // Научный вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2012. Вып. 1(25).

Ерёмин Владимир Георгиевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Проектирование автомобильных дорог и мостов» Воронежского государственного архитектурно-строительного университета

Као Ван Лам – аспирант кафедры «Проектирование автомобильных дорог и мостов» Воронежского государственного архитектурно-строительного университета

Eremin Vladimir Georgievich – Candidate of Technical Sciences, Professor the Department of Design automobile roads and bridges of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

Van Lam Cao – Postgraduate Department of Automobile Roads and Bridges Design Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

Статья поступила в редакцию 12.03.12, принята к опубликованию 06.11.12

УДК 539.3

В.К. Иноземцев, О.В. Иноземцева, Т.М. Зыбенская

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ОСНОВАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Решается вопрос об устойчивости основания и сооружения, рассматривая единую систему «высотное сооружение – основание». На основе соответствующей системы «высотное сооружение – основание» расчетной схемы с помощью основного линейного однородного уравнения теории прямых стержней решается конкретная задача потери устойчивости. Вводится и определяется методом конечных разностей критическая нагрузка общей потери устойчивости высотного сооружения.

Потеря устойчивости, высотное сооружение, система, метод конечных разностей

V.K. Inozemtsev, O.V. Inozemtseva, T.M. Zybenskaja

INFLUENCE OF FOUNDATION DEFORMABILITY ON THE STABILITY OF MULTISTOREY BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

The author considers the stability issues of foundations and constructions, and the uniform system «high-rise construction – foundation». The target issue relating the

loss of stability is solved on the basis of the appropriate system «high-rise construction – foundation», the design diagram with the help of the basic linear homogeneous equation used in the theory of direct cores. The critical load under the general loss of stability of high-rise construction is defined by means of the finite difference method.

Loss of stability, high-rise construction, system, method of finite differences

Любое большепролетное сооружение или высотное здание уникально в силу исключительности своей формы, высоты, природного и техногенного окружения, а также возможных физических и технических отклонений от общепринятых строительных нормативов.



Рис. 1

Для высотных зданий (рис. 1) в отличие от обычных предварительное назначение величины предельных значений деформаций и кренов неприемлемо в принципе. Взаимодействие высотного здания и его основания уникально в связи с исключительно большим давлением на основание, и, как следствие, большими деформациями основания.

В этих условиях расчет на устойчивость системы «высотное сооружение – основание» приобретает особую важность, а учитывая современные тенденции к строительству высотных объектов, также и актуальность.

При работе над данной темой для высотных зданий и сооружений были поставлены следующие задачи:

1. Сохранение устойчивости основания и, как следствие, общей устойчивости и прочности конструкций фундамента, подземной и наземной частей здания или сооружения.
2. Исследование устойчивости отдельных конструктивных элементов и частей здания, а также общей устойчивости высотных зданий на деформируемом основании как системы «высотное сооружение – основание».
3. Оценка критической нагрузки общей потери устойчивости высотного сооружения.

Рассмотрим высотное здание с внутренним несущим каркасом на рис. 2.

Основное линейное однородное уравнение теории прямых стержней при любых законах изменения изгибной жесткости (EJ_c), любых нагрузках и условиях закрепления имеет вид

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EJ_c \frac{d^2 W}{dx^2} \right) - \frac{d}{dx} \left(N_0(x) \frac{dW}{dx} \right) = 0 \quad (1)$$

Здесь $N_0(x) = - \left[\int_0^H q(x) dx - \int_0^x q(x) dx \right]$ – начальное осевое усилие. В соответствии с расчетной

схемой на рис. 1 уравнение устойчивости (1) преобразуется в (2)

$$\frac{d^4 W}{dx^4} - \frac{qx}{EJ_c} \frac{dW}{dx} + \frac{q}{EJ_c} \frac{H^2 - x^2}{2} \frac{d^2 W}{dx^2} = 0 \quad (2)$$

Умножая действующие нагрузки собственного веса сооружения $q_0(H-x)$ на параметр P , рассмотрим внутреннее усилие $N(x) = PN_0(x)$. Найдем значение P_{kp} , являющееся запасом устойчивости сооружения. Для этого запишем уравнение (2) в виде системы разностных уравнений вида:

$$\begin{aligned}
 & W_0 - \left(4 - \frac{\lambda^3 qH}{2EJ_c} \right) W_1 + 6W_2 - \left(4 + \frac{\lambda^3 qH}{2EJ_c} \right) W_3 + W_4 = 0 \\
 & W_{i-2} - \left(4 - P_{kp} \frac{\lambda^3 qH(n-i+1)}{2EJ_c(n-1)} - P_{kp} \frac{\lambda^2 qH^2}{2EJ_c} \left(1 - \frac{(n-i+1)^2}{(n-1)^2} \right) \right) W_{i-1} + \\
 & + \left(6 - P_{kp} \frac{\lambda^2 qH^2}{EJ_c} \left(1 - \frac{(n-i+1)^2}{(n-1)^2} \right) \right) W_i - \\
 & - \left(4 + P_{kp} \frac{\lambda^3 qH(n-i+1)}{2EJ_c(n-1)} - P_{kp} \frac{\lambda^2 qH^2}{2EJ_c} \left(1 - \frac{(n-i+1)^2}{(n-1)^2} \right) \right) W_{i+1} + W_{i+2} = 0 \quad (3) \\
 & W_{n-2} - \left(4 - P_{kp} \frac{\lambda^3 qH}{2EJ_c(n-1)} - P_{kp} \frac{\lambda^2 qH^2}{2EJ_c} \left(1 - \frac{1}{(n-1)^2} \right) \right) W_{n-1} + \\
 & + \left(6 - P_{kp} \frac{\lambda^2 qH^2}{EJ_c} \left(1 - \frac{1}{(n-1)^2} \right) \right) W_n - \\
 & - \left(4 + P_{kp} \frac{\lambda^3 qH}{2EJ_c(n-1)} - P_{kp} \frac{\lambda^2 qH^2}{2EJ_c} \left(1 - \frac{1}{(n-1)^2} \right) \right) W_{n+1} + W_{n+2} = 0
 \end{aligned}$$

Здесь W_i – неизвестные метода конечных разностей; $n-1$ – количество интервалов разбиения области интегрирования (Рис. 3); $W_0, W_1, W_{n+1}, W_{n+2}$ – неизвестные в контурной и законтурных точках области интегрирования.

Разностные уравнения (3) необходимо дополнить граничными условиями. В данном случае справедливы следующие граничные условия:

$$x = H \begin{cases} EJ_c \frac{d^2 W}{dx^2} = 0 \\ EJ_c \frac{d^3 W}{dx^3} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Граничное условие для опорного узла зависит от принятой модели основания. Тогда

$$x = 0 \begin{cases} EJ_c \frac{d^2 W}{dx^2} + P_{kp}^o H_c \frac{dW}{dx} = 0 \\ W = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Здесь P_{kp}^o – критическая нагрузка общей потери устойчивости высотного сооружения без учета его изгибной жесткости; H_c – высота положения центра сил, $P_{kp}^o H_c$ – вириал критической нагрузки общей потери устойчивости.

Тогда получим граничное условие в опорном узле для учета жесткости основания в конечно-разностной форме:

$$x = 0 \begin{cases} W_{n+2} = - \frac{1 - \frac{H_c H P_{kp}^o}{2(n-1)EJ_c}}{1 + \frac{H_c H P_{kp}^o}{2(n-1)EJ_c}} W_n \\ W_{n+1} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Преобразуя граничные условия (4) в конечно-разностную форму, получим

$$x = H \begin{cases} W_1 = 2W_2 - W_3 \\ W_0 = 4W_2 - 4W_3 + W_4 \end{cases} \quad (7)$$

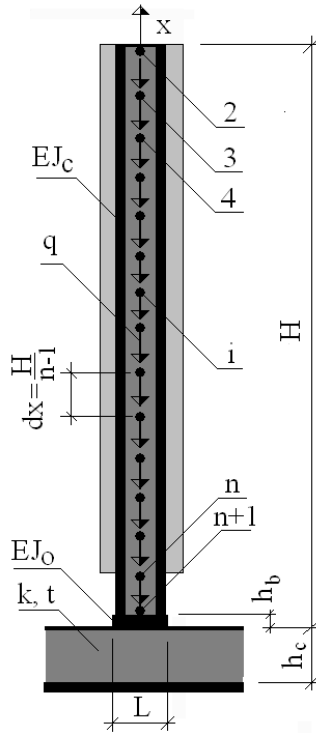


Рис. 2

С учетом граничных условий (6) и (7) система разностных уравнений (3) при $n=6$ примет вид

$$\begin{aligned} (2 + \bar{P}_{kp})W_2 + (-4 - \bar{P}_{kp})W_3 + 2W_4 &= 0 \\ -\left(2 - P_{kp} \frac{13}{10}\right)W_2 + \left(5 - P_{kp} \frac{9}{5}\right)W_3 - \left(4 - P_{kp} \frac{1}{2}\right)W_4 + W_5 &= 0 \\ W_2 + \left(-4 + \frac{19}{10}\bar{P}_{kp}\right)W_3 + \left(6 - \bar{P}_{kp} \frac{16}{5}\right)W_4 + \left(-4 + \bar{P}_{kp} \frac{13}{10}\right)W_5 + W_6 &= 0 \\ W_3 + \left(-4 + \frac{11}{5}\bar{P}_{kp}\right)W_4 + \left(6 - \frac{21}{5}\bar{P}_{kp}\right)W_5 + \left(-4 + \frac{19}{10}\bar{P}_{kp}\right)W_6 &= 0 \\ W_4 + \left(-4 + \frac{5}{2}\bar{P}_{kp}\right)W_5 + \left(6 - \frac{1 - \frac{H_c H P_{kp}^0}{2(n-1)EJ_c}}{1 + \frac{H_c H P_{kp}^0}{2(n-1)EJ_c}} - \bar{P}_{kp} \frac{24}{5}\right)W_6 &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Из условия равенства нулю определителя системы (8) находим критическую нагрузку.

Умножая действующие нагрузки собственного веса сооружения $q_0 = const$ на параметр P , рассмотрим внутреннее усилие $N(x) = PN_0(x)$. Система разностных уравнений при $n=6$ будет иметь вид

$$W_{i-2} + \left(-4 - \frac{P}{2} + P(2-i)\right)W_{i-1} + (6 - 2P(2-i))W_i + \left(-4 + \frac{P}{2} + P(2-i)\right)W_{i+1} + W_{i+2} = 0 \quad (9)$$

Решим задачу для жестко защемленного опорного узла. Это решение хорошо известно, так как уравнение устойчивости можно привести к каноническому виду уравнения Бесселя. Точное решение имеет вид

$$(q_0 H)_{kp} = 7,837 \frac{EJ_c}{H^2} \quad (10)$$

Сопоставим точное решение (10) с численным решением методом сеток. Учет граничных условий дает конечно-разностную систему:

$$\begin{aligned} -W_0 + 2W_1 - 2W_3 + W_4 &= 0 \\ W_1 - 2W_2 + W_3 &= 0 \\ W_{i-2} + \left(-4 - \frac{\bar{P}_{kp}}{2} + \bar{P}_{kp}(2-i)\right)W_{i-1} + (6 - 2\bar{P}_{kp}(2-i))W_i + \left(-4 + \frac{P_{kp}}{2} + \bar{P}_{kp}(2-i)\right)W_{i+1} + W_{i+2} &= 0 \quad (11) \\ W_7 &= 0 \\ W_6 - W_8 &= 0 \end{aligned}$$

Приравнявая нулю определитель системы

$$\begin{vmatrix} -1 & 2 & 0 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & \dots & 0 & \vdots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -4 - \frac{\bar{P}_{kp}}{2} & 6 & -4 + \frac{\bar{P}_{kp}}{2} & \vdots & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -4 + \frac{\bar{P}_{kp}}{2} & 6 - 2\bar{P}_{kp} & -4 + \frac{3\bar{P}_{kp}}{2} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -4 + \frac{3\bar{P}_{kp}}{2} & 6 - 4\bar{P}_{kp} & -4 + \frac{5\bar{P}_{kp}}{2} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -4 + \frac{5\bar{P}_{kp}}{2} & 6 - 6\bar{P}_{kp} & -4 + \frac{7\bar{P}_{kp}}{2} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -4 + \frac{7\bar{P}_{kp}}{2} & 6 - 8\bar{P}_{kp} & -4 + \frac{9\bar{P}_{kp}}{2} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (12)$$

найдем критическую нагрузку:

$$(q_0 H)_{kp} = 7,676 \frac{EJ_c}{H^2} \quad (13)$$

Найденное приближенное значение критической нагрузки (13) отличается от точного решения (10) на 2%.

Учет конечной жесткости основания в опорном узле (6) приводит к конечно-разностной системе уравнений вида

$$\begin{aligned} -W_0 + 2W_1 - 2W_3 + W_4 &= 0 \\ W_1 - 2W_2 + W_3 &= 0 \\ W_{i-2} + \left(-4 - \frac{\bar{P}_{kp}}{2} + \bar{P}_{kp}(2-i)\right)W_{i-1} + (6 - 2\bar{P}_{kp}(2-i))W_i + \left(-4 + \frac{P_{kp}}{2} + \bar{P}_{kp}(2-i)\right)W_{i+1} + W_{i+2} &= 0 \quad (14) \\ W_7 &= 0 \\ \theta(P_{kp}^0)W_6 - W_8 &= 0 \end{aligned}$$

где

$$\theta = -\frac{1 - \frac{H_c H P_{kp}^0}{10EJ_c}}{1 + \frac{H_c H P_{kp}^0}{10EJ_c}} \quad (15)$$

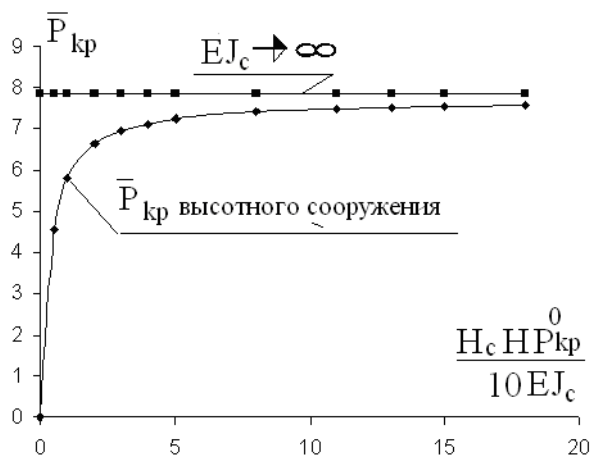


Рис. 3

Очевидно, что критическая нагрузка высотного сооружения P_{kp} будет определяться изгибной жесткостью сооружения EJ_c , его высотой H и жесткостью основания, причем жесткость основания оценивается значением критической нагрузки общей устойчивости сооружения P_{kp}^0 в предположении, что $EJ_c \rightarrow \infty$:

$$P_{kp} = (q_0 H)_{kp} = \bar{P}_{kp} (P_{kp}^0) \frac{EJ_c}{H^2} \quad (16)$$

В основе оценки критической нагрузки общей потери устойчивости высотного сооружения могут быть использованы различные модели основания, такие как [2, 3].

Рассмотрим зависимость критической нагрузки высотного сооружения от параметра $\frac{H_c HP_{kp}^0}{10 EJ_c}$ (рис. 3).

Из приведенного расчета видно, что критическая нагрузка высотного сооружения существенно зависит от критической нагрузки общей потери устойчивости высотного сооружения, рассматриваемого как абсолютно жесткое тело, которая комплексно характеризует жесткость основания. При увеличении жесткости опорного узла критическая нагрузка стремится к значению $(q_0 H)_{kp} = 7,676 \frac{EJ_c}{H^2}$.

При снижении жесткости опорного узла относительно изгибной жесткости надземной части высотного сооружения величина критической нагрузки убывает.

Таким образом, пространственная устойчивость высотного здания или сооружения существенно зависит от жесткости его основания, и эта зависимость может быть количественно оценена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высотные здания/Tall buildings 1/06.
2. Власов В.З. Избранные труды: в т. 3 / В.З. Власов. М.: Наука, 1964. Т. 3. 477 с.
3. Иноземцев В.К. Общая устойчивость сооружений на неоднородном нелинейно-деформируемом основании: монография / В.К. Иноземцев, Н.Ф. Синева, О.В. Иноземцева. Саратов: СГТУ, 2008. 242 с.

Иноземцев Вячеслав Константинович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vyacheslav K. Inozemtsev – Dr. Sc., Professor
Head: Department of Industrial and Civil Engineering
Gagarin Saratov State Technical University

Иноземцева Ольга Вячеславовна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Olga V. Inozemtseva – Ph. D., Associate Professor
Department of Industrial and Civil Engineering
Gagarin Saratov State Technical University

Зыбенская Татьяна Михайловна – ассистент кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Tatyana M. Zybenskaja – Assistant Lecturer Department of Industrial and Civil Engineering Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 14.08.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 539.3

А.С. Игнатьев

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛИТ С АРМИРУЮЩИМ СЛОЕМ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

Проводится анализ кинематических моделей двухслойной плиты, один из слоев которой обладает высокой сдвиговой жесткостью, а другой вследствие низкой жесткости на сдвиг испытывает деформации поперечного сдвига. Сопоставляются линейная и нелинейная сдвиговые модели для слоя с низкой сдвиговой жесткостью, при этом слой с высокой сдвиговой жесткостью описывается классической моделью прямых нормалей.

Двухслойная плита, сдвиговые модели, модель прямых нормалей

A.S. Ignatyev

ANALYSIS OF KINEMATIC MODELS OF TWO-LAYER SLABS REINFORCED BY A COMPOSITE MATERIAL LAYER

The article presents the analysis of the kinematic models of two-layer slabs where one of the layers has a high shear stiffness, and the other due to its low stiffness transverse shear undergoes transverse shear deformation. Comparison is provided for linear and nonlinear models with the layer having low shear stiffness, whereas the layer of high shear stiffness is described in terms of the classical model of direct normals.

Two-layer slab, shear models, a model of direct normals

В настоящее время внедрение в качестве армирующих материалов получают новые современные наноструктурированные материалы типа углепластика УОЛ 300. Его нормативная прочность при растяжении составляет 3155 МПа. Модуль упругости равен 240 ГПа. Этот материал в виде лент наклеивается на растянутой зоне изгибаемого элемента, образуя композитный слой внешнего армирования. Таким образом, получается расчетная схема изгибаемого элемента в виде двухслойной плиты средней толщины (рис. 1).

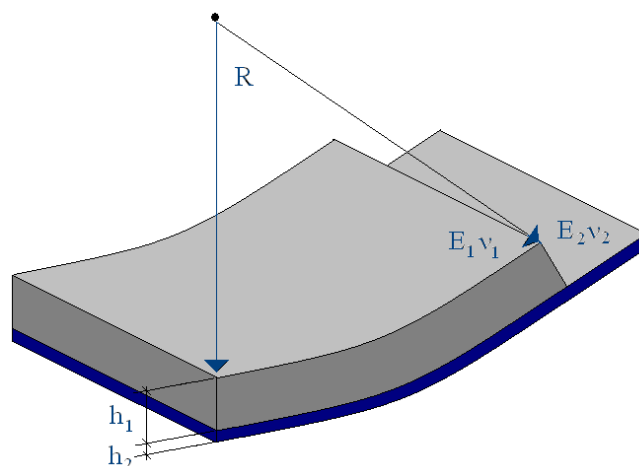


Рис. 1

Особенность работы композитного слоя внешнего армирования плиты обусловлена различием жесткостных свойств в продольном и поперечном направлениях. В продольном направлении жесткостные свойства композитного слоя создаются армирующим материалом (углепластиком), а в поперечном направлении сдвиговая жесткость создается клеевым связующим. Такой композитный слой отличается высокой жесткостью в продольном направлении и относительно низкой сдвиговой жесткостью в поперечном направлении. Указанные обстоятельства требуют построения соответствующей уточненной расчетной модели такой двухслойной плиты, учитывающей деформации поперечного сдвига для композитного слоя внешнего армирования (рис. 2). При этом для основного слоя двухслойной плиты принимается классическая гипотеза прямых нормалей.

Кинематическая гипотеза заключается в разложении перемещений в эквидистантных поверхностях:

$$U_i^k = U_i^0 + z\gamma_{0i}^k + z^2\gamma_{1i}^k + z^3\gamma_{2i}^k; \quad (i = 1, 2;) \quad (1)$$

Здесь U_i^k, U_i^0 – перемещения в эквидистантных и координатной поверхностях соответственно, γ_{ij}^k – искомые функции сдвига ($i = 1, 2$), k – номер слоя.

Связь деформаций с перемещениями имеет вид

$$\begin{aligned} \xi_{ij}^k &= \frac{1}{2}(U_{i,j}^k + U_{j,i}^k), \\ \xi_{i3}^k &= (U_{3,i}^0 + U_{i,3}^k) \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь и в дальнейшем частные производные обозначены запятыми в индексах с последующим указанием аргументов, по которым берутся производные. Индексы i, j, k , если не оговорено, принимают значения 1 и 2.

Касательные напряжения

$$\sigma_{i3}^k = G_{i3}^k \xi_{i3}^k; \quad (3)$$

Здесь G_{i3}^k – сдвиговой модуль k -го слоя.

Принимая параболический закон изменения касательных напряжений, справедливый даже при изгибе толстых плит, получим:

с учетом (5) выражение для перемещений U_i^k (рис. 3):

$$U_i^k = U_i^0 + z\gamma_{0i}^k + \left(z^2 \frac{3\delta_i}{2} - z^3 \right) \frac{1}{(h_k - (-1)^k \delta_i) \mathfrak{B}h_k} (U_{3,i}^0 + \gamma_{0i}^k); \quad (i = 1, 2;) \quad (4)$$

Здесь h_k толщина k -го слоя, постоянные δ_i определяют положение нейтральной поверхности и находят из условия, что при чистом изгибе двухслойной плиты усилия равны нулю:

$$\delta_i = \frac{B_{ii}^2 (h_2)^2 - B_{ii}^1 (h_1)^2}{B_{ii}^1 h_1 + B_{ii}^2 h_2}; \quad (5)$$

где $B_{ij}^k = E_i^k / (1 - \nu_{12}^k \nu_{21}^k)$ – коэффициенты упругости ортотропного материала, E_i^k – модуль упругости в направлении x_1 и x_2 , ν_{ij}^k ($i, j = 1, 2; i \neq j$) – коэффициенты Пуассона. На поверхностях $z = \delta_i$ напряжения σ_{i3} приобретают экстремальные значения.

Кинематическая модель для двухслойной плиты с изотропным слоем, описываемым на основе классической гипотезы Кирхгофа-Лява, и композитным слоем, уточненной нелинейной модели с учетом деформаций поперечного сдвига:

$$\begin{aligned} U_i^{(1)} &= U_i^0 - zU_{3,i}^0; \\ U_i^{(2)} &= U_i^0 + z\gamma_{0i}^{(2)} + \left(z^2 \frac{3\delta_i}{2} - z^3 \right) \frac{1}{(h_2 - (-1)^{(2)} \delta_i) \mathfrak{B}h_k} (U_{3,i}^0 + \gamma_{0i}^{(2)}); \quad (i = 1, 2;) \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда

$$\xi_{ij}^{(1)} = \frac{1}{2}(U_{i,j}^0 + U_{j,i}^0 - zU_{3,ij}^0 - zU_{3,ji}^0)$$

$$\xi_{ij}^{(2)} = \frac{1}{2} \left(U_{i,j}^0 + U_{j,i}^0 + \left(z - \frac{z^3 - 3\delta_i z^2}{(h_2 - \delta_i)3h_2} \right) \gamma_{0i,j}^{(2)} + \left(z - \frac{z^3 - 3\delta_j z^2}{(h_2 - \delta_j)3h_2} \right) \gamma_{0j,i}^{(2)} - \frac{1}{2} \left(\frac{z^3 - 3\delta_i z^2}{(h_2 - \delta_i)3h_2} U_{3,ij}^0 + \frac{z^3 - 3\delta_j z^2}{(h_2 - \delta_j)3h_2} U_{3,ij}^0 \right) \right); \quad (7)$$

$$\xi_{i3}^{(2)} = \left(1 - \frac{z^2 - \delta_i z}{(h_2 - \delta_i)h_2} \right) (U_{3,i}^0 + \gamma_{0i}^{(2)}) \quad (i, j, k = 1, 2)$$

Вводя обозначения:

$$t_i = \left(\frac{z^3 - 3\delta_i z^2}{(h_2 - \delta_i)3h_2} \right); \quad l_i = \left(\frac{(z^2 - \delta_i z)}{(h_2 - \delta_i)h_2} \right); \quad (i, j, k = 1, 2), \quad (8)$$

с учетом (7), получим

$$\xi_{ij}^{(1)} = \frac{1}{2} (U_{i,j}^0 + U_{j,i}^0 - zU_{3,ij}^0 - zU_{3,ji}^0);$$

$$\xi_{ij}^{(2)} = \frac{1}{2} (U_{i,j}^0 + U_{j,i}^0 + (z - t_i)\gamma_{0i,j}^{(2)} + (z - t_j)\gamma_{0j,i}^{(2)}) - \frac{1}{2} (t_i U_{3,ij}^0 + t_j U_{3,ij}^0); \quad (9)$$

$$\xi_{i3}^{(2)} = (1 - l_i)(U_{3,i}^0 + \gamma_{0i}^{(2)}); \quad (i, j, k = 1, 2)$$

Полученные выражения для деформаций соответствуют уточненной модели двухслойной пластины, один из слоев которой обладает низкой сдвиговой жесткостью и описывается нелинейной кинематической моделью.

Построенная нелинейная кинематическая модель как частный случай позволяет получить линейную кинематическую модель и классическую модель прямых нормалей для второго слоя двухслойной плиты.

Произведем сравнительный анализ вариантов уравнений изгиба двухслойной пластины в зависимости от принимаемых кинематических гипотез для ее слоев.

Для этого рассмотрим задачи о спектре частот собственных поперечных колебаний двухслойной пластины с изотропными слоями одинаковой толщины, различающимися отношением модуля сдвига к модулю Юнга, это существенно упростит уравнения, сделает их обозримыми и позволит получить ряд аналитических формул, пригодных для сопоставления с формулами, полученными по различным сдвиговым моделям.

Самый простой вид уравнения получают при использовании классической кинематической гипотезы для двух слоев плиты. В этом случае система дифференциальных уравнений в безразмерной форме приобретает вид

$$(U_{3,1111}^0 + 2U_{3,1122}^0 + U_{3,2222}^0) = \beta^2 U_3^0 \quad (10)$$

Здесь

$$\beta^2 = \frac{\alpha^4}{H^3} \cdot \frac{\rho H}{\sum_{k=1}^2 B_{11}^k} 24 \omega^2;$$

Для сопоставления приведем систему частотных уравнений, полученную для этого примера с помощью линейной сдвиговой модели для однослойной плиты:

$$\gamma_{01,111} + \gamma_{02,112} + \gamma_{01,122} + \gamma_{02,222} = -\beta^2 U_3^0;$$

$$(\gamma_{01,11} + \frac{1+\nu}{2} \gamma_{02,12} + \frac{1-\nu}{2} \gamma_{01,22}) = (\gamma_{01} + U_{3,1}^0) \alpha;$$

$$(\gamma_{02,22} + \frac{1+\nu}{2} \gamma_{01,12} + \frac{1-\nu}{2} \gamma_{02,11}) = (\gamma_{02} + U_{3,2}^0) \alpha;$$
(11)

Здесь

$$\alpha = \frac{G_{i3}}{G_{12}} \cdot \frac{a^2}{H^2} (1-\nu);$$

Для случая, когда основной слой плиты обладает достаточно большой сдвиговой жесткостью и подчиняется классической кинематической гипотезе, а армирующий слой описывается линейной сдвиговой кинематической моделью, уравнения принимают вид

$$\begin{aligned} -\frac{1}{2}(U_{3,111}^0 + 2U_{3,112}^0 + U_{3,222}^0) + \frac{1}{2}(\gamma_{01,111}^{(2)} + \gamma_{02,112}^{(2)} + \gamma_{01,122}^{(2)} + \gamma_{02,222}^{(2)}) &= -\beta^2 U_3^0 \\ (\gamma_{01,11}^{(2)} + \frac{1+\nu}{2}\gamma_{02,12}^{(2)} + \frac{1-\nu}{2}\gamma_{01,22}^{(2)}) &= (\gamma_{01}^{(2)} + U_{3,1}^0)\alpha^{(2)}; \\ (\gamma_{02,22}^{(2)} + \frac{1+\nu}{2}\gamma_{01,12}^{(2)} + \frac{1-\nu}{2}\gamma_{02,11}^{(2)}) &= (\gamma_{02}^{(2)} + U_{3,2}^0)\alpha^{(2)}; \end{aligned} \quad (12)$$

Для случая, когда основной слой плиты обладает достаточно большой сдвиговой жесткостью и подчиняется классической кинематической гипотезе, а армирующий слой описывается нелинейной сдвиговой кинематической моделью, уравнения принимают более сложный вид:

$$\begin{aligned} \frac{2}{5}(\gamma_{01,111}^{(2)} + \gamma_{01,122}^{(2)} + \gamma_{02,112}^{(2)} + \gamma_{02,222}^{(2)}) - \\ - \frac{3}{5}(U_{3,111}^0 + 2U_{3,122}^0 + U_{3,222}^0) &= -\beta^2 U_3^0; \\ \left(1 - \frac{37}{105}\right)(\gamma_{01,11}^{(2)} + \nu\gamma_{02,12}^{(2)}) + \frac{1-\nu}{2}(\gamma_{01,22}^{(2)} + \gamma_{02,12}^{(2)}) - \frac{16}{105}(U_{3,111}^0 + U_{3,122}^0) - \\ - \frac{2\alpha}{3}(U_{3,1}^0 + \gamma_{01}^{(2)}) &= 0; \\ \left(1 - \frac{37}{105}\right)(\gamma_{02,22}^{(2)} + \nu\gamma_{01,12}^{(2)}) + \frac{1-\nu}{2}(\gamma_{02,11}^{(2)} + \gamma_{01,12}^{(2)}) - \frac{16}{105}(U_{3,111}^0 + U_{3,122}^0) - \\ - \frac{2\alpha}{3}(U_{3,2}^0 + \gamma_{02}^{(2)}) &= 0; \end{aligned} \quad (13)$$

Из сопоставления видим, что уравнения (12) существенно отличаются от уравнений (13). В уравнениях (13) подчеркнуты дополнительные слагаемые отсутствующие в (12), причем наличие этих слагаемых повышает порядок уравнений (13).

Представим функции сдвига $\gamma_{0i}^{(2)}$ и прогиба U_3^0 в виде тригонометрических рядов, удовлетворяющих краевым условиям шарнирного закрепления.

Применяя к полученным системам метод двойных тригонометрических рядов, получим простые аналитические формулы для частот собственных колебаний двухслойной пластины и сопоставим их с результатами учета влияния поперечного сдвига, полученными нами по другим кинематическим моделям.

Наиболее простое уравнение для однослойной плиты (при $m=n$) на базе классической модели позволяет получить решение для частотного параметра

$$\beta^2 = 4m^4 \pi^4 \quad (14)$$

В случае, когда основной слой плиты обладает достаточно большой сдвиговой жесткостью и подчиняется классической кинематической гипотезе, а армирующий слой описывается линейной сдвиговой кинематической моделью, частотный параметр будет равен

$$\beta^2 = 4\pi^4 m^4 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 m^2}{\alpha}} \right) \quad (15)$$

Для случая, когда армирующий слой плиты описывается нелинейной сдвиговой кинематической моделью, величина частотного параметра имеет вид

$$\beta^2 = 4\pi^4 m^4 \left(\frac{3}{5} + \frac{2}{5} \frac{1}{1 + \frac{204}{105} \frac{\pi^2 m^2}{\alpha}} \left(1 - \frac{16}{35} \frac{\pi^2 m^2}{\alpha}\right) \right) \quad (16)$$

Очевидно, что при $\alpha \rightarrow \infty$ частотный параметр по уточненным кинематическим моделям стремится к значению, полученному по классической теории прямых нормалей.

Проведем численный анализ значений частотного параметра по различным кинематическим моделям. Для этого необходимо определить диапазон изменения параметра α для различных материалов композитного слоя. При выборе параметров, характеризующих материал композитного слоя, будем иметь в виду отношение $\frac{E}{G^*}$, то есть отношение модуля Юнга к модулю сдвига в поперечном направлении. Так, например, это отношение для композитного материала СВМ [1] может составлять 6, для стеклопластика [2] – 6,8, более высокое отношение имеет графитопластик [3] – 40. В [3, 4] приводятся характеристики композитных материалов с еще большей анизотропией, такой, что отношение $\frac{E}{G^*} = \frac{1}{100}$, эту величину и примем за нижнюю границу отношения $\frac{E}{G^*}$. Геометрический параметр отношения $\frac{a}{H}$ для тонких плит, называемых пластинами средней толщины или просто пластинами, ориентировочно заключен в следующих пределах:

$$\left(\frac{1}{80} \div \frac{1}{100} \right) \leq \frac{H}{a} \leq \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{8} \right).$$

В этом случае параметр $\alpha = \frac{G_{13}}{G_{12}} \cdot \frac{a^2}{H^2} (1-\nu)$; имеет диапазон изменения $0.1875 \leq \alpha \leq 75$.

Построим графики зависимости частотного параметра от значения α при $m=n=1$.

На рис. 2 видно, что со снижением сдвиговой жесткости частотный параметр для однослойной плиты также снижается. Для двухслойной плиты, один из слоев которой является изотропным, имеющим большую сдвиговую жесткость, а второй обладает низкой сдвиговой жесткостью, частотный параметр, рассчитанный по линейной и нелинейной кинематическим моделям, практически совпадает.

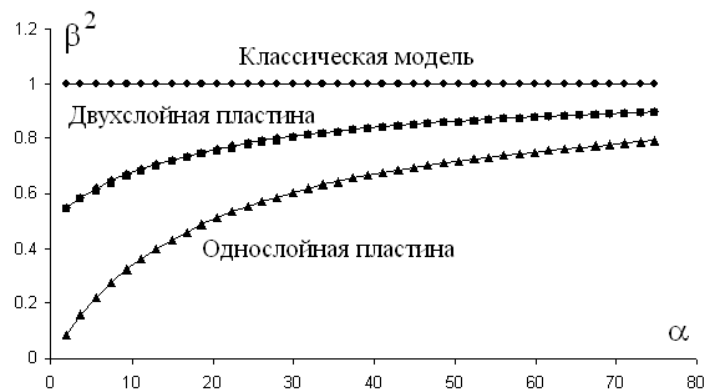


Рис. 2

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашкенази К. Анизотропия механических свойств некоторых стеклопластиков / К. Ашкенази. Ленинград: Ленингр. дом науч.-техн. пропаганды, 1961.
2. Whitney J.M. Bending Extensional Compling in Laminated Plates Under Transverse Louding / J.M. Whitney // Journal of Composite Materials. Vol. 3. Inn, 1969. P. 20-28.
3. Рабинович А.Л. Об упругих постоянных и прочности анизотропных материалов / А.Л. Рабинович // Труды ЦАГИ, 1946. № 582.
4. Tsai S.W. Private communication / S.W. Tsai Jan. Washington Univ. St. Lonis, Mo, 1970.

Игнатъев Алексей Сергеевич – ассистент кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexey S. Ignatyev – Assistant Lecturer Department of Industrial and Civil Engineering Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 22.07.12, принята к опубликованию 06.09.12

А.В. Страхов, Н.А. Иващенко, Д.К. Тимохин

ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

Рассматриваются механизмы повышения эксплуатационных характеристик теплоизоляционных материалов на основе силикатнатриевого стекла за счёт модифицирования системы алюминиевой пудрой, бурой и портландцементом при отверждении композиции в СВЧ-поле.

Теплоизоляционные материалы, жидкое стекло, модифицирование, структурообразование

A.V. Strakhov, N.A. Ivashchenko, D.K. Timokhin

IMPACT OF ACTIVE MINERAL FILLERS ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF ENERGY-EFFICIENT BUILDING COMPOSITES

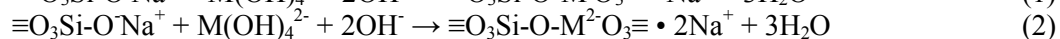
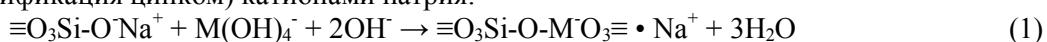
The article presents the mechanisms for improving the performance of insulation materials based on sodium silicate glass by modification of aluminum powder, brown and cement curing composition in a microwave field.

Insulation materials, water glass modification, structure

Рассматриваемые поризованные материалы являются продуктами термического вспучивания гидратированного силикатнатриевого стекла, представляющими собой неорганические полимеры [1, 2].

Основным из эксплуатационных свойств поризованного материала на основе жидкого стекла является его отношение к действию воды. Повышение водостойкости достигается: 1) использованием полимерных добавок и активных наполнителей; 2) управлением окислительно-восстановительными механизмами структурирования вяжущей матрицы; 3) параметрами и режимами термообработки.

Доказано, что одним из эффективных способов повышения водостойкости является применение веществ – структурообразователей, содержащих ионы Si^{4+} ; Ca^{2+} ; Zn^{2+} ; Al^{3+} ; B^{2+} . Химический механизм структурирования связан со способностью атомов Zn ; Al ; B и др. замещать атомы кремния в кремнекислородных тетраэдрах, составляющих основу структуры силикатнатриевого стекла [1]. При этом образуются кислотные центры с присоединенными одним (модификация бором или алюминием) или двумя (модификация цинком) катионами натрия:



Комплексы «кислотный центр-катион натрия» ведут себя подобно нерастворимой в воде натриевой соли сильной кислоты; в отличие от силикатного такой натрий не способен к гидролитическому выщелачиванию водой, что способствует повышению водостойкости материала. В комплексе «основные центры-катион натрия» структурирование протекает за счет обменных реакций [3].

В исследованиях вяжущей матрицей служил полученный одностадийным способом силикатнатриевый продукт с модулем $n=1,2-1,6$ и плотностью $\rho=1550 \text{ кг/м}^3$ [4].

Применяемые наполнители представлены фосфогипсом, цементом, гидратной известью, бурой, алюминиевой пудрой и ультрадисперсными углеродсодержащими отходами.

Термическую обработку отформованных и подсушенных гранул производили СВЧ излучением на частоте в интервале от 2,2 до 2,6 ГГц в течение 1÷2 минут при мощности СВЧ излучения 80÷100 Вт (температура 80-90°C). Затем увеличивали мощность СВЧ-излучения и производили вспучивание полуфабриката на той же частоте в течение 3÷5 минут при мощности СВЧ излучения 400÷500 Вт (температура 240-250°C). Термическая обработка в два этапа проводилась для стабилизации и упрочнения поверхности гранул.

По результатам экспериментов был проведен анализ соотношения теплопроводности, плотности, прочности и коэффициента водостойкости в зависимости от степени наполнения и вида наполнителя-модификатора при температуре отверждения $T_{отв} = 250^\circ\text{C}$. Показано, что в образцах, где в качестве наполнителя-модификатора использовался цемент в количестве 1-20 масс.ч, теплопроводность изменялась от 0,052 до 0,071 Вт/(м°C); плотность от 100 до 410 кг/м³; прочность от 0,13 до 1,04 МПа;

а коэффициент водостойкости от 0,72 до 1,05. При содержании извести в количестве 1-10 масс.ч. теплопроводность изменялась от 0,054 - 0,074 Вт/(м²С); плотность от 120 до 460 кг/м³; прочность от 0,28 до 0,97 МПа; а коэффициент водостойкости – от 0,96 до 0,75. При использовании извести расход наполнителя по сравнению с цементом уменьшается при сохранении той же плотности и увеличении прочности образцов. Это объясняется тем, что гашеная известь переводится в различные соли (согласно данным РФА, в соответствующие карбонаты, гидросиликаты кальция).

Исследование динамики увеличения и потери массы в зависимости от времени выдержки в воде показало, что в зависимости от времени выдержки в воде и вида модификатора в течение 12-24 часов масса образцов теплоизоляционного материала (ТИМ) увеличивалась (коэффициент водостойкости, $K_v \approx 1$), однако после выдерживания в воде в течение 24 - 96 часов масса начинала снижаться ($K_v < 1$).

Совместное применение алюминиевой пудры и буры позволило повысить прочность и водостойкость материалов ($K_v^{24} = 1,01$ и $K_v^{96} = 0,91$; где 24,96 – время выдержки образцов в воде в часах ($R_{сж} = 0,85$ МПа; $\rho = 180$ кг/м³)). В композиции, содержащей 3 масс.ч. гашеной извести и 5 масс.ч. буры, водостойкость оказалась аналогичной ($K_v^{24} = 1,03$ $K_v^{96} = 0,93$) $R_{сж} = 0,6$ МПа; $\rho = 250$ кг/м³).

Наиболее высокие значения предела прочности при сжатии характерны для ТИМ, полученных при термической обработке в СВЧ-установке. Прочностные характеристики, равные 0,44-1,47 МПа, соответствовали известным аналогам, в то время как характеристики материалов, получаемых другими способами, были значительно меньше (0,035-0,054 МПа), что существенно сужает область их применения.

Экспериментально подобраны оптимальные режимы термообработки ТИМ. Общий анализ полученных данных (термообработка материалов проходила в интервале от 120 до 500°С) позволил сделать вывод, что наиболее приемлемым температурным режимом получения теплоизоляционного материала на основе жидкого стекла (ТИМ-ЖС) является режим 200-300°С, позволяющий получать материалы с плотностью 150-210 кг/м³, прочностью 0,28-0,44 МПа и теплопроводностью 0,05-0,063 Вт/(м²С). Анализ энергозатрат на получение ТИМ, а также анализ температурных режимов работы существующего оборудования позволил сделать вывод: наиболее эффективной для получения ТИМ-ЖС является температура 250°С.

Проведен анализ изменения теплопроводности, плотности, прочности и времени отверждения в зависимости от температуры отверждения ТИМ-ЖС (120-350°С), содержащих 5 масс.ч. цемента. При повышении температуры следующие характеристики материала уменьшались: теплопроводность от 0,104 до 0,041 Вт/(м²С), плотность с 1230 до 70 кг/м³, прочность от 9,04 до 0,18 МПа и время отверждения композиций с 205 до 40 мин. Необходимо отметить, что наибольшее изменение прочности и плотности наблюдается при $T = 120-150^\circ\text{C}$ ($R_{сж} = 9,04-0,7$ МПа; $\rho = 1230-290$ кг/м³), что указывает на целесообразность термообработки всех видов ТИМ-ЖС при температурах выше 150°С.

С целью изучения процессов структурообразования модифицированных ТИМ-ЖС и физико-химических свойств модификаторов были проведены термографический анализ (ТГА) и дифференциально-термический анализ (ДТА) некоторых исходных композиций и материалов после термообработки. Исходные композиции на основе ЖС, независимо от вида модификатора, при нагревании в интервале температур от 100-120°С первоначально изменялись по массе за счет выхода (испарения) неструктурной воды, сопровождаемого четким эндотермическим эффектом на кривых ДТА. Потеря массы исходных композиций в этом интервале температуры практически не зависела от вида модификатора и составляла 55-58%. Влияние модификаторов на скорость протекания процессов отверждения ТИМ прослеживалось в интервале температур 240-600°С в виде экзотермических эффектов на ДТА-кривых, имеющих пологий максимум в области 340-380°С.

Анализ кривых ТГА и ДТА образцов ТИМ, термообработанных при 250°С, позволил сделать вывод о том, что в полученных материалах остается химически связанная вода. Данные РФА подтверждают присутствие в структуре жидкостекольных композитов ряда кристаллогидратов. Наличие пологих максимумов на ДТА-кривых, расположенных в интервале температур от 250 до 600°С, по видимому, свидетельствует о продолжении процессов отверждения теплоизоляционных материалов, а убыль массы в размере 8-11% указывает на протекание процесса выхода воды из структуры образовавшегося материала. Менее всего, судя по малой интегральной величине экзоэффекта, доотверждаются материалы, содержащие известь.

С целью установления конечных продуктов отверждения был проведен РФА модифицированных ТИМ-ЖС. Данные РФА позволили сделать вывод о том, что наиболее эффективными в плане повышения водостойкости композициями будут являться системы, которые уменьшают вероятность образования при отверждении кристаллической щелочи и способствуют образованию нерастворимых

и малорастворимых соединений (поликремниевых кислот и смешанных силикатов, карбонатов, алюминатов различного строения: $\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$; Al_2SiO_5 ; $\text{NaCa}_4\text{Al}_3\text{Si}_5\text{O}_{19}$; $\text{Ca}_{11}\text{B}_2\text{Si}_4\text{O}_{22}$; Ca_2SiO_4 и других).

Таким образом, установлено, что модифицирование силикатнатриевой связки активными наполнителями направленно влияет на формирование структуры и свойств силикатнатриевых композиций, повышая технико-эксплуатационные показатели изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнеев В.И. Растворимое и жидкое стекло / В.И. Корнеев, В.В. Данилов. СПб.: Стройиздат, 1996. 216 с.
2. Сычев М.М. Неорганические клеи / М.М. Сычев. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Химия, 1986. 152 с.
3. Малявский Н.И. Щелочносиликатные утеплители. Свойства и химические основы производства / Н.И. Малявский // Российский химический журнал (Журнал Рос. хим. общ-ва им Д.И. Менделеева). 2003. XLVIII. № 4. С. 39-45.
4. Павлова И.Л. Перспективы использования местного силицитового сырья в производстве строительных материалов / И.Л. Павлова, А.В. Страхов, Н.А. Иващенко // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов: сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. Пенза: ПДЗ, 2008. С. 68-69.

Страхов Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и технологии» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander V. Strakhov – Ph. D., Associate Professor
Department of Building Materials and Technologies
Gagarin Saratov State Technical University

Иващенко Наталья Александровна – инженер кафедры «Строительные материалы и технологии» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Natalya A. Ivashchenko – Engineer
Department of Building Materials and Technologies
Gagarin Saratov State Technical University

Тимохин Денис Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и технологии» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Denis K. Timokhin – Ph. D., Associate Professor
Department of Building Materials and Technologies
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 03.05.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 666.942

Е.А. Шошин, Н.Н. Былинкина

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ В ПРИСУТСТВИИ ИЗОМЕРНЫХ УГЛЕВОДОВ

Исследования структуры модифицированного цементного камня методом рентгеновской дифракции показали, что в присутствии небольших количеств углеводов изомерного строения наблюдается изменение не только структуры гелевой фазы цементного камня, но и состава его кристаллических фаз. Структура и состав фаз камня для каждого вида углевода различны.

Цементный гель, модификация, изомерные углеводороды, рентгеновская дифракция, структура

E.A. Shoshin, N.N. Bylinkina

INFLUENCE OF ISOMERIC CARBOHYDRATES ON THE STRUCTURE OF THE CEMENT COMPOSITE

The study of the modified cement gel structure by the XRD-method has shown that a small amount of carbohydrates changes both the structure of cement gel and ce-

ment crystal phases configuration. The structure and configuration of crystal phases differs for every type of the carbohydrate.

Cement gel, modification, isomeric carbohydrate, XRD-method, structure

Модифицирующее действие органических добавок на реологические и эксплуатационные свойства цементных систем принято рассматривать с позиций адсорбции органических молекул на поверхности гидратных новообразований, входящих в состав цементного геля [1-5]. При этом основными параметрами органической молекулы добавки считаются длина углеродной цепи, функциональный состав, периодичность расположения функциональных групп в молекулярной цепочке, т.е. параметры, характеризующие соответствие геометрического профиля молекулы структуре поверхности и определяющие возможность адсорбции и прочность связи. Однако адсорбция органической молекулы на гидратированной минеральной поверхности предполагает присутствие воды и вероятное ее участие в адсорбционных процессах. В этом случае поверхностная вода выступает элементом поверхностной структуры минеральной частицы, а следовательно, необходимо учитывать пространственное расположение функциональных групп адсорбированной молекулы, т.е. ее пространственную изомерию, аналогично тому, как это учитывается при исследовании клатратов [6, 7], особенно если функциональная группа способна к образованию водородных связей. Следовательно, изомеры органических молекул, адсорбирующихся на гидросиликатных гелевых частицах, будут иметь различное влияние на характер образующихся гелевых фаз, их стабильность и характер продуктов их уплотнения. Для подтверждения выдвинутой гипотезы было проведено рентгенофазовое исследование образцов цементных паст, модифицированных изомерными углеводами арабинозой, рибозой, ксилозой, описываемых формулой $C_5H_{10}O_5$, две из которых (арабиноза и рибоза) являются эписимерами, т.е. углеводами, отличающимися положением ОН-групп при 2 углеродном атоме (в α -положении к альдегидной группе). В качестве объекта исследования углеводы были выбраны по нескольким причинам: во-первых, углеводы образуют устойчивые комплексы с зародышевой фазой цементного камня [8-10], во-вторых, углеводы способны к образованию водородных связей, что предопределяет возможность взаимодействия углеводов с поверхностными гидратными структурами; в-третьих, углеводы не меняют поверхностного натяжения раствора, что исключает возможные искажения гидратационных процессов за счет проявления добавкой поверхностной активности; в-четвертых, углеводы обладают высокой вариативностью пространственного расположения ОН-групп, что делает углеводы удобным модельным объектом. В ходе исследования фиксировались изменения структуры цементного камня в ранние сроки твердения (2, 7 сутки), когда относительная концентрация слабозакристаллизованных фаз максимальна [11], и на 28 сутки для идентификации состава и характера кристаллических фаз. Дозировка углеводов составила 0,5%, что близко к предельной критической концентрации углеводов, при которой изменения гидратационных процессов носят катастрофический характер [10, 12].

В сравнительном анализе также использовались контрольные образцы камня, не содержащие углеводов (рис. 1, 2). Через сутки после затворения цемента водой на дифрактограмме цементного камня наблюдаются только исходные фазы клинкера: алит и белит, а также незначительное количество портландита, и в то же время присутствуют значительные количества слабозакристаллизованных фаз, проявляющихся в виде широких рефлексов в областях межплоскостных расстояний (м.р.) $d = 1,47-0,80$ нм (гелевая фаза 1) и $d = 0,33-0,24$ нм, причем последний характерен для цементного CSH-(I) геля [13], объемы которого определяют прочностные характеристики камня [14].

Таблица 1

Относительные интенсивности рефлексов фаз бездобавочного образца

Длительность гидратации	Отношения интенсивностей рефлексов, J_x /Апито-белитовая фаза (АБФ)					
	Портландит, (d=0,49нм)	CSH (I) (d=0.33-0.26 нм)	Гелевая фаза 2 (d=0.63-0.49 нм)	Гелевая фаза 1 (d=1,47-0,80 нм)	Гидроалюминат кальция (d=0,71 нм)	Этtringит (d=0,97 нм)
1 сут	0,61	5,75	0,40	3,01	0,13	0,13
3 сут	1,00	7,21	-	1,17	0,11	0,13
28 сут	0,96	6,72	-	-	0,17	0,10

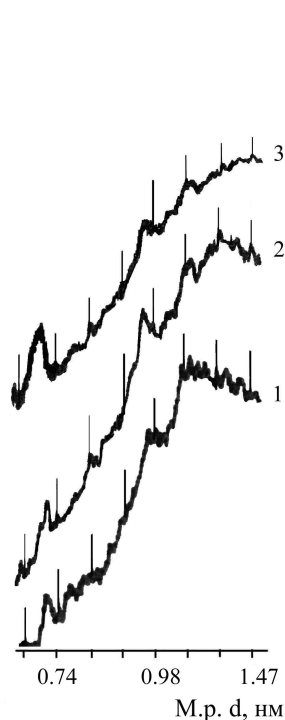


Рис. 1. Фрагменты дифрактограмм немодифицированных образцов: 1 – 1 сутки гидратации; 2 – 7 сутки гидратации; 3 – 28 сутки гидратации

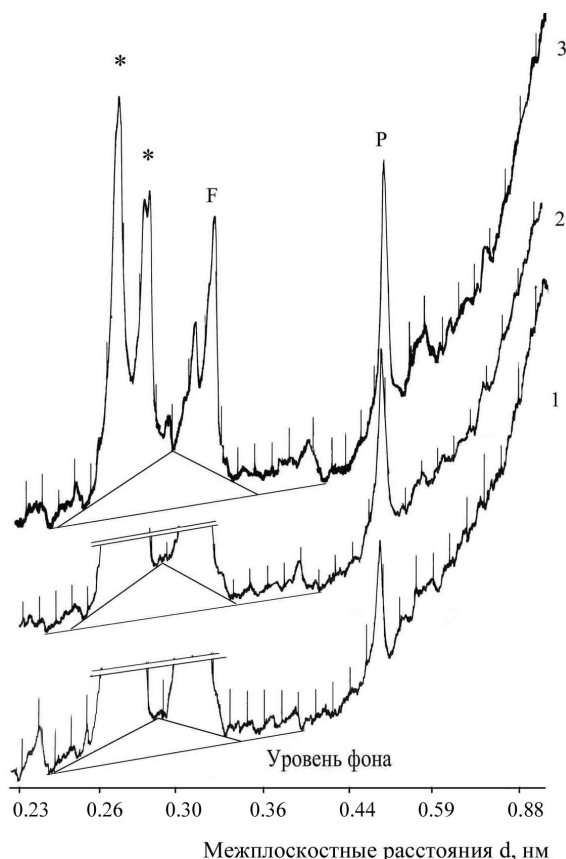


Рис. 2. Дифрактограммы немодифицированных образцов: 1 – 1 сутки гидратации; 2 – 7 сутки гидратации; 3 – 28 сутки гидратации. * - алито-белитовая фаза (АБФ); P – портландит F – CaF₂ (внутренний стандарт)

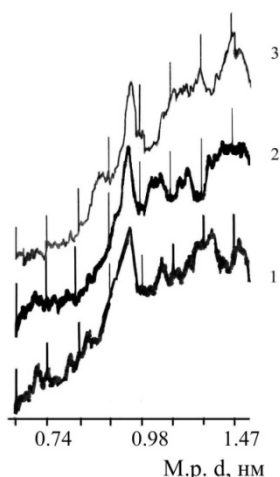


Рис. 3. Фрагменты дифрактограмм образцов, модифицированных ксилитом: 1 – 1 сутки гидратации; 2 – 7 сутки гидратации; 3 – 35 сутки гидратации

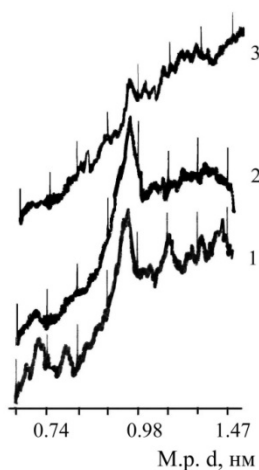


Рис. 4. Фрагменты дифрактограмм образцов, модифицированных арабинозой: 1 – 1 сутки гидратации; 2 – 7 сутки гидратации; 3 – 35 сутки гидратации

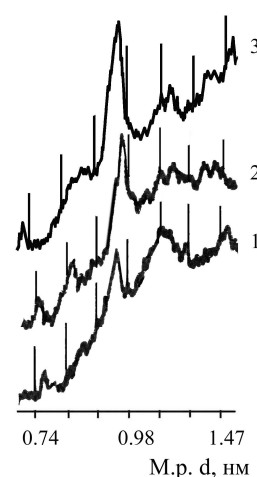


Рис. 5. Фрагменты дифрактограмм образцов, модифицированных рибозой: 1 – 1 сутки гидратации; 2 – 7 сутки гидратации; 3 – 35 сутки гидратации

С течением времени наблюдается перераспределение интенсивностей отражений слабозакристаллизованных фаз: снижается интенсивность рефлекса гелевой фазы 1 ($d=1,47-0,80$ нм), одновременно увеличиваются интенсивности отражений портландита ($d=0,49$ нм) и цементного CSH (I) геля ($d=0,33-0,24$ нм) (табл. 1).

Количественная оценка изменений относительных интенсивностей указанных отражений позволяет сделать предположение, что рефлекс в области м.р. $d=1,47-0,8$ нм соответствует первичной высокогидратной форме геля, который, со временем уплотняясь, переходит в основную форму CSH

(I)-геля с рефлексом в области м.р. $d=0.33-0.24$ нм: так, за двое суток гидратации интенсивность рефлексов первичной гелевой фазы 1 снижается на 60%, тогда как интенсивность рефлексов уплотненной гелевой фазы CSH(I) за этот же период увеличилась на 20%, а интенсивность рефлекса портландита выросла почти на 40%. Интенсивности рефлексов других фаз за данный период времени изменяются значительно меньше. Таким образом, основные изменения за трое суток гидратации произошли в характере слабозакристаллизованных фаз цементного камня: происходит уплотнение гелевой фазы 1 с образованием структуры CSH-(I)-геля, параллельно выкристаллизовывается портландит.

В присутствие углеводов общий характер картины сохраняется, т.е. в первые сутки гидратации на дифрактограммах присутствуют преимущественно рефлексы слабозакристаллизованных фаз при тех же углах дифракции, однако картина спектра в области м.р. $d=1.47-0.80$ нм в присутствии углеводов существенно отличается от таковой немодифицированного образца: в указанном диапазоне м.р. проявляются четкие рефлексы, характерные для кристаллических фаз или текстур, причем для каждого углевода характерен свой набор рефлексов в данном диапазоне м.р. (рис. 3-5): для ксилозы – 0,94 нм, 1,07 нм и расщепленный рефлекс 1,30 нм; для арабинозы – 0,95 нм, 1,12 нм, 1,28 нм. и 1,40 нм; для рибозы – 0,95 нм, 1,12 нм. Из всех перечисленных рефлексов только рефлекс 0,95 нм однозначно идентифицируется как фаза этtringита [[9-414] по каталогу 15], причем с несколько увеличенным межплоскостным расстоянием, что, видимо, объясняется вовлечением углеводов в состав этtringитовых фаз.

Таблица 2

Относительные интенсивности рефлексов фаз модифицированных образцов

Добавка/ длительность гидратации	Отношения интенсивностей аналитических рефлексов фаз, J/АБФ					
	Портландит ($d=0,49$ нм)	CSH (I) ($d=0,33-0,26$ нм)	Гелевая фаза 2 ($d=0,63-0,49$ нм)	Гелевая фаза 1 ($d=1,47-0,8$ нм)	Гидроалюминат кальция ($d=0,71$ нм)	Этtringит ($d=0,97$ нм)
Арабиноза / 2 сут	-	1,34	0,50	0,80	0,10	0,16
Арабиноза / 7 сут	0,04	3,00	0,53	1,67	0,06	0,19
Арабиноза /35 сут	0,23	4,87	1,02	0,96	0,15	0,11
Рибоза / 2 сут	-	2,07	0,22	0,93	0,05	0,05
Рибоза / 7 сут	0,09	2,08	0,23	0,99	0,09	0,16
Рибоза / 35 сут	0,24	5,20	0,34	0,66	0,19	0,16
Ксилоза / 2 сут	0,06	2,43	-	1,00	0,09	0,11
Ксилоза / 7 сут	0,07	3,35	0,44	1,00	0,08	0,14
Ксилоза /35 сут	0,18	6,78	-	0,52	-	0,21

Характерно, что и содержание этtringитовых фаз на ранних сроках структурообразования, оцениваемое по относительной интенсивности рефлекса, для всех трех углеводов различно (табл. 2) – наибольшая интенсивность рефлекса этtringитовой фазы характерна для образца, модифицированного арабинозой. Остальные из перечисленных рефлексов идентификации не поддаются и, по видимому, характеризуют собственную структуру высокогидратной гелевой фазы 1.

Наблюдения за изменением профиля кривой сигналов гелевой фазы 1 (м.р. 1,47-0,80 нм) также показывают заметные отличия от контрольного образца: если в контрольном образце интенсивность рефлекса гелевой фазы 1 за трое суток гидратации снижается в 1,3 раза (табл. 1), то в модифицированных образцах за 7 суток интенсивность данного рефлекса либо не снижается, либо даже растет (табл. 2).

Последнее свидетельствует о стабилизации высокогидратной формы геля углеводами. Подобная стабилизация затрудняет уплотнение гелевой фазы 1, в связи с чем скорость увеличения интенсивности рефлекса CSH (I)-геля значительно снижена (табл 2): прирост интенсивности за 7 суток составил для арабинозы 2,24 раза, для рибозы – 0, для ксилозы – 1,37 раза; для контрольного образца прирост интенсивности соответствующего рефлекса за 3 суток составил 1,77 раза. Таким образом, исследованные углеводы по-разному влияют на скорость трансформации гелевой фазы 1 в CSH (I)-гель, причем наибольшее тормозящее действие оказывает рибоза, а наименьшее – арабиноза, являющаяся эписмером рибозы.

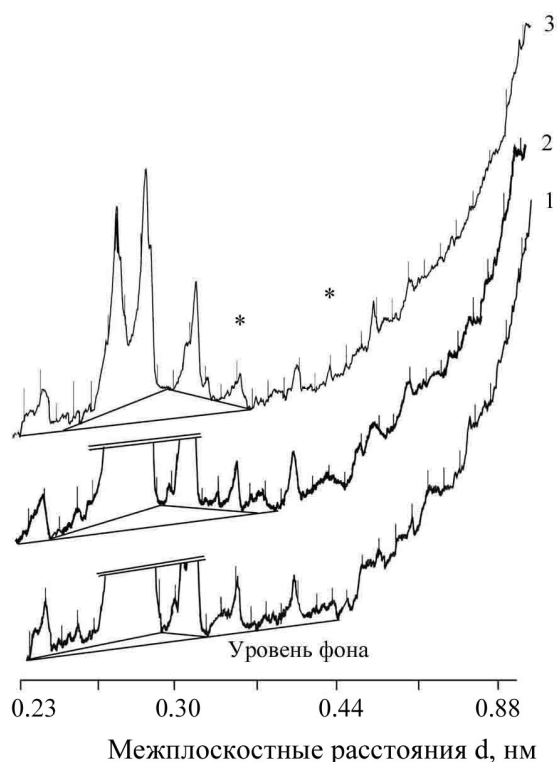


Рис. 6. Дифрактограммы цементного образца, модифицированного ксилитозой: 1 – 2 суток гидратации; 2 – 7 суток гидратации; 3 – 35 суток гидратации

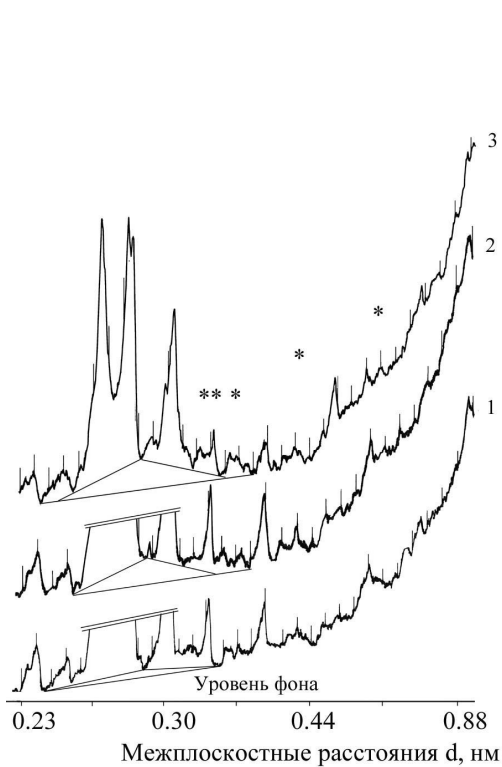


Рис. 7. Дифрактограммы цементного образца, модифицированного арабинозой. 1 – 2 суток гидратации; 2 – 7 суток гидратации; 3 – 35 суток гидратации

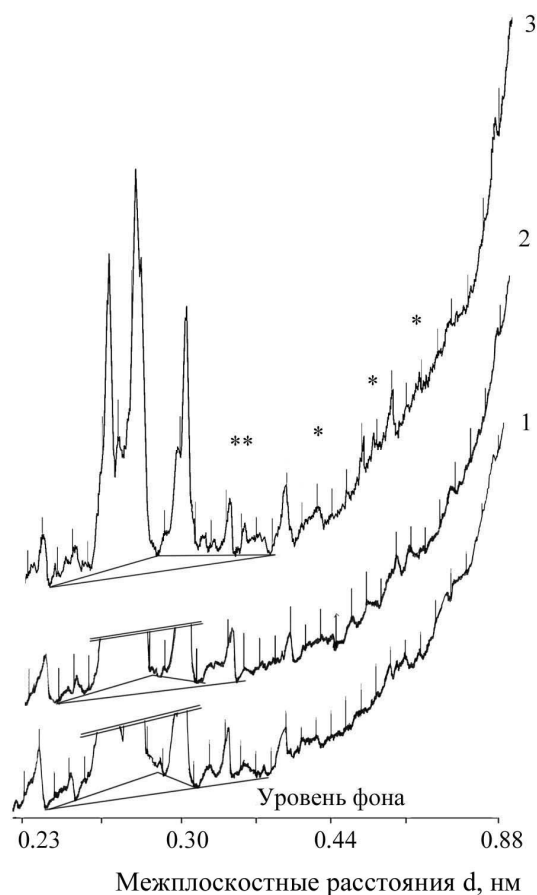


Рис. 8. Дифрактограммы цементного образца, модифицированного рибозой. 1 – 2 суток гидратации; 2 – 7 суток гидратации; 3 – 35 суток гидратации

Более длительное воздействие углеводов на развитие процессов фазообразования модифицированного цементного камня оценивалось по образцам 35-суточного возраста. Как следует из данных табл. 1, 2, к этому возрасту концентрация высокогидратной гелевой фазы I в модифицированных образцах значительно снижается, однако остается более высокой, чем у контрольного состава. Как и в предыдущем случае, характер кривой дифрактограммы в области м.р. 1,47-0,80 нм различен для различных углеводов (рис. 3-5), т.е. влияние углевода сохраняется на всем протяжении процесса гидратации, а тот факт, что характер данного участка кривой дифрактограммы постоянно меняется в процессе гидратации, свидетельствует об участии углевода в составе продуктов переменного состава. Характерно также и то, что на поздних этапах гидратации структуры и состав кристаллических фаз модифицированных образцов также различны: появляются отражения, соответствующие м.р. 0,63; 0,52; 0,42; 0,36; 0,33; 0,32 нм (рис. 6-8, отмечены *). И хотя отнесение данных рефлексов к каким-либо фазам затруднительно в силу изоструктурности гидросиликатов и низкой интенсивности самих рефлексов, сам факт различия дифрактограмм свидетельствует о более глубоком, чем принято считать, воздействии углеводов как на гелевую, так и кристаллическую фазы цементного камня. Таким образом, оптические изомеры органических веществ способны в различной степени влиять на кинетику гидратационных процессов, процессов формирования CSH-(I) геля, а также на состав кристаллических фаз цементного камня. Наличие изменений в фазовом составе цементного камня, модифицированного оптическими изомерами углеводов, свидетельствует о чрезвычайно важной роли гидратных оболочек, окружающих гелевые частицы не только в реологии цементных систем, но и фазообразования камня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика: 2-е изд., перераб. и доп. / В.Г. Батраков. М., 1998. 768 с.
2. Рамачандран В.С. Добавки в бетон: справ. пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
3. Tisa E. NeKal Effect of some admixture on the hydration of silica fume and hydrated lime / Tisa E. NeKal // J. Mater. Sci. Technol. 2000. Vol. 16. № 4. С. 375-378.
4. Глекель Ф.Л. Зависимость эффекта действия пластификаторов цементных дисперсий от природы гидратирующихся фаз / Ф.Л. Глекель, Р.З. Копп, Н.А. Мусаева, Р.И. Кушнер, К.С. Ахмедов // ЖПХ. 1989. Т. 62. № 5. С. 1026-1028.
5. Palacios M. Effect of superplasticizer and shrinkage-reducing admixtures on alkali-activated slag pastes and mortars / M. Palacios, F. Puertas // Cement and concrete research. 2005. 35. С. 1358-1367.
6. Дядин Ю.А. Супрамолекулярная химия: клатратные соединения / Ю.А. Дядин // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 2. С. 79-88.
7. Габуда С.П. Связанная вода. Факты и гипотезы / С.П. Габуда. Новосибирск: Наука, 1982. 160 с.
8. Глекель Ф.Л. Физико-химические основы применения добавок к минеральным вяжущим / Ф.Л. Глекель. Ташкент: ВАН, 1974. 123 с.
9. Thomas N.L. The retarding action of sugars on cement hydration / N.L. Thomas, J.D. Birchall // Cement and Concrete Research. 1983. Vol. 13. Issue 6. November. P. 830-842.
10. Juenger M.C. New insights into the effects of sugar on the hydration and microstructure of cement pastes / M.C. Juenger, H.M. Jennings // Cement and Concrete Research. 2002. Vol. 32. Issue 3. March. P. 393-399.
11. Шошин Е.А. Влияние пространственного строения углеводов на структурообразование цементного камня / Е.А. Шошин, Д.К. Тимохин, А.Н. Сенокос // Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов: материалы V Междунар. науч.-техн. конф., г. Волгоград, 23-24 апр 2009 г.: в 3 ч. / Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. Волгоград, 2009. Ч. 2. С. 76-82.
12. Тараканов О.В. Цементные материалы с добавками углеводов / О.В. Тараканов; ПГАСА. Пенза: Изд-во ПГАСА, 2003. 166 с.
13. Chen Jeffrey J. Solubility and structure of calcium silicate hydrate / Jeffrey J. Chen, Jeffrey J. Thomas, Hal F.W. Taylor, Hamlin M. // Jennings-Cement and Concrete Research. 2004. Vol. 34. P. 1499-1519.
14. Шошин Е.А. Влияние органических добавок на характер кристаллизации цементного геля / Е.А. Шошин, Д.К. Тимохин // Прогрессивные материалы и технологии в современном строительстве: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. / Новосиб. гос. аграрн. ун-т. Новосибирск, 2007. С. 169-173.
15. Powder Diffraction File, Inorganic, JCPDS-Swartwore, Pennsylvania, USA. 1987.

Шошин Евгений Александрович –
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Производство строительных материалов
и изделий» Саратовского государственного
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Былинкина Нина Николаевна –
научный сотрудник института химии
Саратовского государственного университета
имени Н.Г. Чернышевского

Evgeny A. Shoshin –
Ph. D., Associate Professor
Department of Building Materials and Products
Gagarin Saratov State Technical University

Nina N. Bylinkina –
Research Fellow
Institute of Chemistry
Chernyshevsky Saratov State University

Статья поступила в редакцию 12.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ И КУЛЬТУРОЛОГИЯ

УДК 140

Т.В. Григорян

ИДЕЯ ГУМАНИЗМА В ФИЛОСОФИИ М. И. ВЕЛЛЕРА¹

Раскрывается представление современного русского философа М. И. Веллера об идее гуманизма. Анализируются его воззрения на окружающую социальную действительность с ракурса её гуманности. Излагаются взгляды Веллера на возможные пути достижения гуманного гражданского общества в российском государстве, а также тенденции развития гуманных взаимоотношений, складывающихся на международном уровне.

Идея гуманизма, М.И. Веллер, философия

T.V. Grigoryan

IDEAS OF HUMANISM IN THE M.I. VELLER PHILOSOPHY

The article focuses on the ideas of humanism in the works of the modern Russian philosopher M. I. Veller. The attitude of the scientist to the social environment in terms of humanism concepts is analyzed. The article presents Veller's views on the possible ways towards the humane civil society in Russia, and the progressing trend towards the humane relations developing on the international level.

Idea of humanism, M.I. Veller, Russia, person, society, state

Начиная со второй четверти XX столетия европейские народы стали ощущать надвигающийся кризис в их культурной жизни, вызванный духовной несамостоятельностью вследствие вынужденного подчинения законодательным нормам, регулирующим практически все сферы человеческой деятельности до мельчайших подробностей. К настоящему времени мировой кризис в сфере культуры и локальные проблемы человечества трансформировались и приняли форму глобальных, то есть общечеловеческих проблем. Среди той огромной совокупности социальных катаклизмов, стоящих перед всем человечеством, к сожалению, нашлось место и идее гуманизма. Гуманность как исторически развивающаяся данность человеческой природы вызывает в начале XXI столетия всё больший теоретический интерес и общественный резонанс в силу того, что мысли, слова и действия человека в современном мире всё чаще носят антигуманный характер.

Гуманность, будучи одной из наивысших универсальных ценностей, необходимых для благополучного общежития, пронизывает абсолютно все сферы духовного и опытно-практического бытия. Отдельные области современной гражданской жизнедеятельности, в особенности относительно индивидуальной и социальной активности человека, всесторонне описал и философски обосновал Михаил Иосифович Веллер (р. 1948). Поэтому детально рассмотрим представления об идее гуманизма, сложившиеся в творчестве этого современного русского писателя и философа.

Актуальность содержания данной работы преимущественно состоит в том, что в ней впервые раскрываются взгляды современного русского философа Веллера с гуманистической позиции. Большинство современных учёных анализируют либо особенности его литературного творчества, либо политические убеждения философа. Например, подобным анализом занимаются такие учёные, как Л. В. Кипнес [1], О. М. Крижовецкая [2] и др. Мы синтезируем оба эти направления и параллельно с изучением философских сочинений Веллера раскроем суть его воззрений на идею гуманизма.

¹ Работа выполнена в рамках Государственного задания вузу Минобрнауки РФ, № 6.3701.2011

Проанализируем философские воззрения Веллера на идею гуманизма с двух теоретических ракурсов. Первый ракурс направлен на изучение идеи гуманизма в представлении русского философа посредством анализа характерных черт для человека как биосоциального существа. Второй ракурс связан с разъяснением антигуманистических тенденций, присущих современным цивилизациям, в том числе и России.

Начнём анализ с одной из знаменитых философских работ Веллера, получившей название «Всеобщая теория всего». В ней мыслитель утверждал, что каждый человек обладает жизненной энергией, дающей ему возможность познавать себя и окружающий мир. Поэтому индивиды, находясь постоянно в процессе поиска собственного смысла жизни, в своём многовековом историческом развитии не дают человечеству вымереть как роду.

В основе этих суждений лежит теория энергоэволюционизма Вселенной, впервые выдвинутая Веллером. Согласно этой теории, человек является дуалистическим существом, то есть, с одной стороны, человек – это субъективное существо, основными характеристиками которого выступают ощущения, эмоции, аффекты, нелогичность и т.п., а с другой – это объективное существо, отражаемое в способности практически действовать. Человек по природе стремится к максимализму, сначала в ощущениях, а затем и в действиях, независимо от их гуманистической направленности. Такое положение вещей, по Веллеру, определяет нескончаемый процесс человеческого мироустройства, где противоборствуют между собой вечные законы Вселенной и эмоционально-чувственный человек.

Основываясь на этой теории, философ рассматривает государство как надындивидуальный институт, который не учитывает субъективные потребности, так как во главе угла у государства находятся системные задачи по укреплению мощи власти посредством эксплуатации людей. Тем самым Веллер не принимал за истинность договорную теорию Руссо и политические взгляды М. Фридмана. Будучи обеспокоенным кризисом идеи гуманизма в России, русский философ утверждал, что до становления в российском обществе истинной демократии ещё очень далеко. Такое заключение Веллер сделал, опираясь на идеи Аристотеля, согласно которым для того, чтобы тоталитарный режим перерос в демократию, тоталитарное государство должно обязательно пройти такие два этапа развития, как охлократия и тирания.

Отсюда следует, по мнению Веллера, что гражданского общества в России никогда не было и, возможно, никогда не будет. Образ идеального гражданского общества с позиции философа существовал в древней Греции, когда все люди были равны между собой, так как каждый человек имел небольшое частное дело, приносящее пользу ему и окружающим людям. Более того, древние греки платили налоги, которые всегда использовались на общественные нужды, например, постройку дорог, прокладку дамб, наём стражников и т.п. Законы, которым подчинялись древние греки, они формулировали сами и поэтому были законопослушными гражданами своего государства. Это, по утверждению Веллера, и есть идеальная форма демократического устройства государства. По сравнению с этой демократией в России, по мнению философа, преобладают противоположные социальные тенденции. Достаточно упомянуть российских крупных собственников и монополистов, которые блокируют возможность появления конкурирующих компаний на отечественном, а тем более на мировом торговом рынке.

Русский философ видит возможность построения демократичного и гуманного общества в России, минуя Государственную Думу, следующим образом: «Наибольшим благом и оптимальным выходом было бы сегодня посадить за стол переговоров представителей всех сколь-нибудь значимых политических сил – правых, левых, патриотических (хотя любой нормальный человек должен быть патриотом), президентской Администрации, капитанов бизнеса. И выработать единую программу. Скажем, в течение 5 лет создать необходимые демократические и рыночные институты, продумать устройства балансов, сдержек и противовесов» [6]. Кроме того, эти люди должны создать протекционистские законы и выработать гуманную политическую доктрину для российского государства с целью формирования в нём гуманных граждан.

Анализируя одно из антигуманных проявлений современной действительности, которое носит название терроризм, Веллер считал, что подавить возможность осуществления людьми террористических актов функционированием одних только законов в государствах является недостаточной мерой. Необходимо ещё, чтобы каждый человек действовал, руководствуясь не эгоистическими побуждениями, а гуманистическими принципами, трудясь и живя не только на благо себе, но и на пользу всему обществу. Это важно в силу того, что «...корень терроризма не в том, что имеется угроза извне, из другой страны, другого этноса, другой религии, а в том, что все устройство жизни, мораль, идеология, мироотношение современных цивилизованных стран позволяют применять этот терроризм по отношению к себе» [3].

Терроризм с позиции философа не является единственным антигуманным проявлением в современном мире. Веллер утверждал, что современные цивилизации, формулируя отличные от христианской идеологии, эгоистичные ценности, сами ведут человечество на путь самоуничтожения. Он отмечал, что погоня людей за баснословной прибылью, престижем, властью, славой и т.п. значительно превалирует над духовными ценностями. Такая реальность отражается в переносе заводов и фабрик в те регионы мира, где относительно дешёвая рабочая сила, например, в тот же самый Китай. Это обязательно сопровождается негативными тенденциями для того государства, которое на законодательном уровне разрешает такой перенос предприятий, выраженными в ослаблении, прежде всего, экономической сферы страны, и наносит непоправимый урон её будущему благополучию.

Русский философ отмечал, что человек не только живёт во внешнем природном и социальном мире, он сам в себе заключает весь всеобъемлющий мир. Поддерживая точку зрения Артура Шопенгауэра на идеалистичность всей мировой философии, Веллер писал: «Мы познаем мир через себя и посредством себя. Через свои чувства и мышление, посредством своей центральной нервной системы. Мы имеем дело не с миром, а со своими представлениями о нем» [5]. Рассуждая о возможностях объективного познания, он отмечал, что таковое возможно в отношении точных наук, вроде математики, физики, химии, астрономии, где исключительно преобладание влияния законов природы, в том числе и законов логики. Преимущественно субъективный характер носят такие науки, как философия, социология, психология и ряд иных, объектами которых выступают, как правило, познавательные процессы человека.

Богатая на учения и концепции философия не раз подчёркивала внутреннюю противоречивость человеческой личности, в особенности между его чувствами и разумом, страстями и долгом. Познавательный процесс, по мнению Веллера, каждый человек должен начать с себя, иначе он не поймёт окружающую его действительность. Для познания своей личности человеку необходимо наличие двух условий: честности и времени: «Честность – чтобы спокойно докапываться в себе до правды, и время для того же» [5]. Русский философ считал, что в познавательном процессе истина и мораль могут не совпадать, и в этом кроется одна из основных причин дегуманизации современного общества.

Истинная обязанность человеческого существования, с позиции Веллера, заключается в необходимости достижения следующего условия: «Добраться до самой первопричины явлений, увидеть цельную картину причинно-следственных связей мира – вот задача» [5]. Подчёркивая важность книг, библиотек, наук, гипотез и воспитательно-образовательного процесса в жизни каждого человека, философ выявил триаду, все элементы которой должны находиться в гармоничном соотношении друг с другом, имеющую следующий вид: «книги – личный опыт – размышление» [5].

В то же время философ, основываясь на личном наблюдении, отмечает, что в молодости человек зачастую переоценивает свои физические, умственные и духовные возможности, стремится к большим высотам по сравнению с действительно имеющимся социальным положением. Но со временем, становясь более зрелой личностью, этот энтузиазм, или, как принято иначе говорить, «юношеский максимализм», сталкиваясь на своём жизненном пути с различного рода препятствиями, в том числе и соблазнами, становится более приземлённым, в некотором смысле даже трусливым, боязливым, суеверным. Причём философ подчёркивает, что принудительное культивирование в людях нравственности чревато формированием в них лени к умственному труду.

Веллер считает, что каждый человек имеет определённое жизненное предназначение. Поэтому каждый поумневший «...человек должен делать в жизни самое большое, на что он способен. Большому кораблю – большое плавание. Кому полмира покорить, кому сад посадить, кому детей поднять – каждому свое. Мог ты сделать то-то и то-то, а вот не сделал. Не угадал свое предназначение. Глуп был и слаб...» [5]. По мнению философа, каждый человек обладает от рождения определённым набором природных задатков, заложенных в нём на генетическом уровне. Помимо этого, каждый человек приобретает в процессе своего существования личный опыт. Следовательно, каждый человек индивидуален и способен к гуманности.

Размышляя над вопросом о собственном смысле жизни, человек может попытаться найти ответ на данное размышление в прочитанной книге, либо в определённом практическом занятии. Опираясь на это умозаключение, Веллер формулирует следующее убеждение, придерживаясь которого, по его мнению, каждый человек не только реально будет смотреть и воспринимать всё происходящее с ним и окружающим его миром, но и станет разумно подходить к разрешению тех или иных жизненных трудностей, возникших на его пути. Это утверждение заключается в следующем: «Ты – начальная точка, Мир – конечная точка, Твое Место – подвижный визир, посредством которого градуируется масштаб и цена делений» [5]. Опираясь по жизни на вышеизложенное утверждение, человек,

прежде чем следовать каким-либо мнениям и принять что-либо на веру, сначала должен стремиться к познанию истины вещей и событий, определиться с понятиями «добро» и «зло», осмыслить свою гуманность. Это необходимо для тех людей, которые не желают наивно впасть в заблуждения, дабы к старости не чувствовать свою ущербность и не сожалеть о былых временах, а с радостью проживать отпущенные годы жизни. Следовательно, любой человек свободен в желании осуществления выбора своего жизненного пути. Конечно, все люди живут в определённо-заданном природном и социальном мире. Но разумный человек в современном мире может, соизмеряя свои духовные, интеллектуальные и физические силы, осознанно выбрать то или иное пространственно-географическое место жительства, если его по каким-либо субъективным причинам не устраивает нынешнее местопребывание.

Веллер условно выделяет и подробно описывает одиннадцать основных потребностей, необходимых, по его мнению, для полной и счастливой жизни, к которым обычно стремится каждый здравомыслящий человек. К этим нуждам он отнёс: здоровье, любовь, свободу, благополучие семьи и родственников, материальное благосостояние, престижную работу, карьеру, славу, власть, уважение со стороны окружающих людей и возможность путешествовать по миру. По мере того, как одни люди сознательно стремятся к подобным благам жизни, другие, преимущественно осознанно, сами у себя отнимают наличие таких благ. Например, многие люди губят своё здоровье, причём не только физическое, но и психическое, употребляя алкогольные напитки, табачные изделия, наркотические средства и психотропные вещества, переедая или недоедая пищу, ведя беспорядочную половую жизнь и тому подобное. По мнению русского философа, такое антигуманное поведение сопряжено с тем, что люди во многом некомпетентны относительно свободы, то есть они зачастую толкуют свободу как вседозволенность. Такая подмена понятий, с позиции Веллера, недопустима, так как свобода включает в себе гуманность, а произвол, как правило, подразумевает под собой преступные деяния, влекущие определённый вид государственного наказания, тем самым, не имеющие ничего общего с гуманностью.

Рассматривая тему ощущений, философ отдаёт предпочтение именно базовым человеческим потребностям. В частности, анализируя одну из основных потребностей человека – потребность в пище, он утверждает, что она тесно связана не только с телесным, но и с психологическим, эмоциональным, душевным состояниями человека. Например, будучи подавленным каким-либо жизненным событием или просто находясь в состоянии тревоги, горя, радости, один человек может «потерять» аппетит, второй, наоборот, поглотить чрезмерное количество еды, а у третьего процесс приёма пищи пройдёт как обычно, без каких-либо видимых изменений. Отсюда философ заключает, что под воздействием тех или иных ощущений общее самочувствие человека в течение дня может много раз изменяться. Поэтому Веллер писал, что «...ощущения могут менять границы возможностей организма. Влияют на его первейшие потребности – вплоть до усиления или ослабления самого инстинкта жизни в целом» [5].

Веллер писал: «Жизнь как комплекс ощущений есть основа для жизни как комплекса размышлений» [5]. Изучая различные примеры и синтезируя результаты, полученные учёными от проводимых на животных и людях опытов, русский философ пришёл к выводу, согласно которому человеческому мозгу принципиально нет никакой разницы, каким способом он получает наслаждения, для него первостепенно испытывать и целиком погружаться в само это состояние удовольствия. Например, люди употребляют алкогольные напитки потому, что алкоголь снимает общее состояние напряжения в организме и вдобавок сопровождается эмоциональным подъёмом настроения.

Говоря о счастье, несчастье и любви, Веллер ничего нового не вывел. Он, как и многие другие философы, считает, что у каждого человека имеется субъективное представление о счастье и несчастье, которое зачастую навязывается ему социумом. Веллер считает, что в мире мало найдётся тех людей, которые, подобно древнегреческому моралисту Диогену Синопскому, в жизни в бочке будут видеть счастье. Человек, с позиции философа, не может полностью контролировать все сферы своей жизнедеятельности потому, что есть судьба, удача и много иного, пока не объяснимого наукой и не зависящего от воли человека.

Веллер считает, что тема счастья обязательно тесно связана с небольшой долей садомазохизма, который зачастую проявляется в авантюрных поступках, любопытстве, искушении, альтруизме, сострадании, эмпатии, самоубийстве и тому подобное. Человек как живое существо состоит не только из ощущений и инстинктов, он способен к разумной деятельности. Живя и в горе и в радости, человек способен ощутить всю полноту своей экзистенции и найти своё истинное счастье. Счастье во все не заключается в праздности. Праздность есть результат скуки, где последняя является следствием наличия «свободного» от трудовой деятельности времени, которое зачастую тратится впустую или во вред её субъекту и окружающим людям. Веллер утверждает, что праздность может проявляться либо в ничегонеделании, либо находить выражение в пьянстве, чревоугодии, азартных играх, заклю-

чениях пари, коллекционировании, спорте как виде зрелища, охоте и прочих развлечениях, способных доставлять человеку удовольствие. На основе этого он сформулировал следующую последовательность, которая отражает суть любого человеческого поведения: «Ощущения – разум – действия» [5]. Тем самым, философ ещё раз подчёркивает, что в человеке первичны его ощущения, без которых невозможен познавательный процесс, следовательно, без них невозможна никакая сознательная деятельность: «Во всех своих действиях человек руководствуется потребностью нервной системы в ощущениях» [5].

Самоутверждение как процесс самореализации, с позиции философа, является проявлением инстинкта самосохранения и поэтому самоутверждение носит гуманный характер. Человек в процессах социализации и самореализации неизбежно сопоставляет себя с другими людьми и соревнуется в чём-либо с ними. Отсюда возникает проявление в человеке чувства зависти. Веллер выделяет «белую» (отражающую позитивное стремление) и «чёрную» (отражающую негативное стремление) разновидности зависти. Чувство зависти, по его мнению, заложено в каждом человеке от природы, и по своей сути является признаком гуманной личности. По мнению Веллера, зависть не испытывают только те люди, которые либо сами в чём-то превосходят других людей, либо инертно существуют по жизни, не будучи активными «строителями» своей личной жизни и, следовательно, не участвуют в развитии мировой истории. Философ считает, что современный человек зачастую стремится только к материальному богатству, а о духовной своей причастности либо забывает, либо полагает, что она сама собой сообразуется, как некая данность в его мозге. Но такое убеждение есть иллюзия. Следовательно, человек, по Веллеру, будучи всегда неотъемлемой частью природы, вбирает в себя следующие шесть уровней жизнедеятельности: энергетический, физический, биологический, исторический, психологический и философский.

В своей книге «Всё о жизни» Веллер продолжает развивать основные философские идеи, заложенные им в таких предыдущих его работах, как «Всеобщая теория всего» и «Кассандра». В более содержательной по объёму книге «Всё о жизни» её автор анализирует ряд сопутствующих идеи гуманизма понятий. В частности, говоря о роли доброты в жизни человека, философ считает, что истинно добрый человек – это, по сути, бесхарактерный индивид, который никогда не добивается социальных высот, то есть он не бывает победителем по жизни. Веллер пишет: «Доброта есть аспект слабости. Ибо добрый человек все противоречия между собой и окружающими решает в пользу окружающих – он принимает их нужды как свои и следует им» [4]. К тому же доброта, по его мнению, часто сопровождается инертностью, физической вялостью, ленью мысли и бесцельным характером. Помимо всего прочего, добрый человек не умеет правильно расходовать личную жизненную энергию, добровольно отдавая её на нужды и прихоти другим людям. С другой стороны, Веллер, подчёркивая, что человек является общественным существом, рассматривает во внешних проявлениях доброты один из способов самоутверждения, доставляющий её деятелю чувство удовольствия. Философ признаёт, что доброта – это, возможно, то единственное гуманное чувство, благодаря которому до сих пор функционирует человеческое бытие. По «соседству» с добром живёт зло, как его базовая диалектическая противоположность, причём и добро, и зло являются неотъемлемой частью человека как природного существа.

Заслуга Веллера состоит в том, что он определяет понятия «добро» и «зло» с более широких позиций в отличие от общепризнанных формулировок. Он усматривает в этих понятиях не только моральный аспект, но и вещественный момент. Например, огнестрельное оружие с позиции философа может относиться только к категории зла, так как оно служит средством для убийства, что само по себе является антигуманным, а полевые цветы – добра, так как они, по мнению философа, никому и никогда не могут принести вреда. Веллер вывел следующую формулу: «Добро – это счастье плюс справедливость» [4]. Следовательно, любое зло можно победить, а любого добра можно достичь. Эти две категории с позиции философа играют в человеческом бытии важную роль в силу того, что они указывают на факт, согласно которому человеку безразлично состояние общественного мироустройства. Он отмечает, что диалектическая борьба между добром и злом существовала издавна. В древности ей были посвящены мифы, легенды, сказания, песнопения и многое другое. Несмотря на это, абсолютного зла, как и абсолютного добра, по мнению Веллера, в мире нет и быть не может. Это связано с тем, что и та, и другая природная данность коренится в различной степени внутри каждого человека и способна практически проявиться только в социуме.

Проза человеческой жизни с позиции философа заключается в следующем: «Человек хочет и делает не то, что он по своему разумению должен был бы хотеть и делать, а то, что ему в результате и в сумме необходимо для получения максимальных ощущений и совершения максимальных действий» [4]. Следовательно, категории «добро» и «зло» позволяют человеку сформировать идеально-

гуманный образ жизни, к которому надо стремиться, и его антипод, которому ни в коей мере не стоит подражать. Этот идеал и антиидеал должны служить личности на пользу, то есть в качестве ориентиров в его жизненном пути всеобщего познания.

Глубокую трактовку у Веллера получает также понятие «любовь», которое тесно связано с гуманностью. Философ признаёт различные виды объектов любви, например, к людям и многообразным материальным вещам, но отдаёт предпочтение в анализе именно половой любви. В основе такой любви русский философ усматривает половой инстинкт, который играет роль некой биологической энергии, внешне проявляемой в виде животного инстинкта самосохранения. Веллер относит понятие «любовь» исключительно к чувственному началу в человеке, исключая какую бы то ни было рациональность. Он считает, что рациональность должна следовать за любовью, а не предшествовать или сопутствовать чувству любви. Именно в заботе о здоровье близких людей и материальном благополучии необходимо проявлять рациональность. Философ отмечает, что любовь не всегда сопровождается радостным состоянием. Зачастую любовь приносит с собой непоправимые и разрушительные последствия, а также иногда ввергает человека в страдания, особенно когда это чувство является безответным. Избыток человеческой энергии иногда принимает форму страдания. Страдание может не только ввести человека в депрессивное состояние, оно также способно быть великим стимулом к разумной и позитивно-активной деятельности. Так как половая любовь – это питание нежных чувств одного человека к другому, она подразумевает в своём внешнем проявлении определённую культуру речи и поведения.

Тема любви у Веллера неразрывно связана с темой ревности. Ревность понимается им как «...реакция на угрозу для твоей биологической энергии, реакция на ограничение воспроизводства себя в потомстве» [4]. Философ считает, что и мужчина, и женщина по природе устроены таким образом, что оба стремятся в жизни обрести устойчивое положение, позволяющее им в нужное для них время и без каких-либо внешних ограничителей обзавестись детьми. Там, где отсутствует надежда, и объект любви является недостижимым для её субъекта, с позиции философа не может возникнуть чувство ревности. Например, Веллер считает, что ревность не могут испытывать фанаты различных популярных людей, так как фанат не может питать каких-либо реальных надежд в отношении к своему «недостижимому» кумиру-идолу.

Анализируя проблему самоубийства, Веллер выделяет следующие два мотивированных подхода к суициду: рациональный и нерациональный. Например, рациональный суицид возможен в случае наличия тяжёлой болезни, от невозможности терпения телесных наказаний (пытках), дабы не попасть в плен, от безответной любви, чтобы избежать чувства позора и тому подобное. Примером безмотивного суицида может служить состояние глубокой депрессии. К мыслям о суициде люди приходят, как правило, в результате нереализованности личных желаний и целей, а также вследствие непонимания себя и окружающих людей. Веллер с гуманистической позиции пытается разрешить данную проблему, подчёркивая, что суицид не может служить в качестве выхода из какой-либо жизненной ситуации. Он утверждает, что каждый человек жизнелюб и гуманист по своей натуре, следовательно, человек должен выплёскивать свою энергию во внешний мир, а также активно развивать свои духовные, интеллектуальные и физические способности, дабы достойно реализовать себя как личность в социуме, мужественно преодолевая все стоящие на жизненном пути препятствия.

В заключение можно отметить, что философские труды Веллера достаточно легко читаются и написаны современным языком. В его работах нет разделов, посвящённых непосредственно идее гуманизма, но русский мыслитель освещает многие актуальные для идеи гуманизма и современности проблемы, такие как проблема демократии, любви, свободы, эмпатии, сострадания, зависти, власти, суггестии, богатства, эгоизма, здоровья и тому подобное. Чувство гуманности с позиции Веллера – это одна из форм выражения доброты наряду с любовью, счастьем, справедливостью, благодарностью, богатством, здоровьем и тому подобное. Идея гуманизма, тем самым, тонкой нитью проходит через всё творчество философа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кипнес Л.В. Об особенностях прозы Михаила Веллера («Легенды Невского проспекта») / Л.В. Кипнес // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2009. № 2. С. 155-160.
2. Крижовецкая О.М. Проза М. Веллера и Л. Улицкой: гендерные аспекты поэтики / О.М. Крижовецкая // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2007. № 53. С. 137-141.
3. Бузукашвили М. Интервью с Михаилом Веллером «За гуманизм придется платить исчезновением цивилизации» / М. Бузукашвили. URL: <http://www.chayka.org/oarticle.php?id=366>. doc. (дата обращения: 02.03.2012).

4. Веллер М. Все о жизни / М. Веллер. URL: <http://www.klex.ru/2kk.doc>. (дата обращения: 18.07.2011).
5. Веллер М. Всеобщая теория всего / М. Веллер. URL: <http://www.klex.ru/a2l.doc>. (дата обращения: 18.07.2011).
6. Глазкова Л. Чтобы пользоваться демократией, ее сначала нужно построить / Л. Глазкова // Российская Федерация сегодня. 2007. № 1. URL: http://archive.russia-today.ru/2007/no_01/01_topic_1.htm.doc. (дата обращения: 02.03.2012).

Григорян Татевик Варгановна – аспирант кафедры философии Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н.Г. Чернышевского

Tatevik V. Grigoryan – Postgraduate Department Philosophy N.G. Chernyshevsky Zabaikalsky State Humanitarian and Pedagogical University

Статья поступила в редакцию 16.07.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 316.3/4

С.С. Кулмагамбетова

ВОСПИТАНИЕ ЧЕРЕЗ ФОРМИРОВАНИЕ ПАТРИОТИЗМА

Статья посвящена вопросам воспитания казахстанской молодежи в духе патриотизма. Рассматриваются понятия казахстанского патриотизма. Именно воспитание патриотизма представляет собой целостный педагогический процесс, направленный на формирование и развитие патриотических качеств личности каждого гражданина Казахстана, а для этого примером для подражания и воспитателем молодежи должен быть каждый педагог высшего учебного заведения.

Воспитание молодежи, формирование патриотизма, государственный язык, казахстанский патриотизм, национальное самосознание, студенческая молодежь, суверенный Казахстан

S.S. Kulmagambetova

EDUCATION BY MEANS OF PATRIOTISM

This article is devoted to educating the youth of Kazakhstan in the spirit of patriotism. The article deals with the concept of Kazakhstan patriotism. Inculcation of patriotism is a holistic educational process aimed at forming and developing patriotic qualities of each individual citizen of Kazakhstan, and for that, as role models and mentors of the young people should be every teacher working at an educational institution.

Education of youth, formation of patriotism, national language, Kazakhstan patriotism, national consciousness, college students, independent Kazakhstan

Молодежь современного Казахстана – это принципиально новое поколение, выросшее в условиях разрушения старой системы, кардинальных и крайне трудных реформ в политике, экономике и социальной сфере.

Именно молодое поколение будет определять будущее нашей республики в XXI веке. И не случайно нынешнее Послание Президента Нурсултана Назарбаева народу названо «Построим будущее вместе!» – все стратегические цели его политики адресованы, в первую очередь, молодежи.

Молодежь сегодня имеет широкие возможности принимать участие в формировании и реализации программ и проектов, направленных на решение важнейших социальных вопросов. Эту работу координируют советы по молодежной политике при Президенте Республики Казахстан, по патриоти-

ческому воспитанию граждан и делам молодежи при Правительстве, по молодежной политике при акиматах областей, городов и районов.

Серьезным каналом формирования гражданского сознания и участия молодежи в выработке и реализации решений является студенческое самоуправление в вузе. Это направление воспитательной и практической работы сейчас интенсивно разворачивается и должно быть выведено на новый качественный уровень.

Воспитание – важное социальное явление, предмет познания и практической заботы нынешнего общества и государства в переходный период их развития. В более конкретном смысле воспитание представляет собой совокупность идей и положений, определяющих мировоззренческие основы, идеологию, цель, содержание, задачи, принципы, основные формы и методы воспитательной деятельности субъектов воспитания, а также способы взаимодействия воспитателей и воспитуемых в процессе этой деятельности, сущность которой определяется, с одной стороны, интересами и требованиями общества к личности, с другой – интересами самой личности и ее отношением к обществу и государству.

Патриотизм предполагает гордость достижениями и культурой своей Родины, желание сохранять её характер и культурные особенности и идентификация себя с другими представителями народа, готовность подчинить свои интересы интересам страны, стремление защищать интересы Родины и своего народа. Исторический источник патриотизма – веками и тысячелетиями закреплённое существование обособленных государств, формировавшее привязанность к родной земле, языку, традициям. В условиях образования наций и национальных государств патриотизм становится составной частью общественного сознания, отражающего общенациональные моменты в его развитии.

Главный из них – наличие среди основных здоровых эмоций каждого человека почитания места своего рождения и места постоянного проживания как своей Родины, любовь и забота о данном территориальном формировании, уважение местных традиций, преданность до конца своей жизни данной территориальной области. В зависимости от широты восприятия места своего рождения, зависящего от глубины сознания данного индивида, границы его родины могут простираться от площади собственного дома, двора, улицы, поселка, города до районных, областных масштабов.

Патриотизм – это уважение к своим предкам, любовь и проявление терпимости к своим землякам, проживающим на данной территории, желание помогать им, отучать от всего дурного. Высший показатель данного параметра – благожелательность ко всем своим соотечественникам, являющимся гражданами данного государства.

Независимость нашего государства является ярким символом гордости и казахстанского патриотизма. Высокое и священное понятие независимости выступает основой единства и общенациональной идеи Казахстана, призванной объединить наш народ, и станет бесценным достоянием потомков, которым предстоит дальнейшее созидание устремленной в будущее страны.

Во многом воспитание патриотизма начинается с государственного языка, который стал таким же символом государственности, как гимн, флаг и герб. И для того чтобы быть патриотом своей страны, достаточно начать с себя, взяться за овладение казахским языком – именно такую цель нужно ставить перед современной молодежью, юными гражданами Казахстана.

Символика суверенного Казахстана отражает основные направления идеологии независимого государства, его исторического развития, мышления и философии, является воплощением многовековой мечты казахского народа и полиэтнического общества о свободе, независимом пути развития. Поэтому ее пропаганда и правильное внутригосударственное использование способствуют формированию у граждан национального самосознания, основанного на патриотизме, любви к Родине, стремлении служить ее интересам и готовности к ее защите.

Казахстанский патриотизм – это осознание государственного, казахстанского. Он включает: чувство привязанности к тем местам, где человек родился и вырос; уважительное отношение к родному языку; заботу об интересах Родины; проявление гражданских чувств и сохранение верности родине; гордость за ее социальные и культурные достижения; отстаивание ее свободы и независимости; уважительное отношение к историческому прошлому Родины и унаследованным от него традициям; стремление посвящать свой труд, силы и способности расцвету Родины.

Пропагандируя государственные символы, уважение к отечественной армии, правоохранительным органам, ко всем государственным институтам является самым важным инструментом в формировании казахстанского патриотизма. Это правовое воспитание молодежи, которая должна знать свои права и обязанности, это профилактика правонарушений и пропаганда здорового образа жизни.

Первоочередной задачей является развитие патриотизма у граждан Республики, и направление патриотизма не в русло уничтожения, а в русло созидания, как в общественной жизни, так и стоя у власти. Наш Президент Н.А. Назарбаев возлагает большие надежды на молодое поколение. Говоря

о новой управленческой элите, он отметил необходимость притока в государственные структуры свежих сил.

Истоки патриотизма начинаются с любви к семье, родине. Важно каждому делать максимально полезное на том поприще, которое он выбрал. Если ты школьник, надо хорошо учиться, если студент – познавать азы науки. Общественные деятели, государственные служащие, военные, люди культуры, предприниматели – всем необходимо направлять усилия на то, чтобы процветала наша страна.

Студенческую молодежь необходимо воспитывать в духе нетерпимости к таким социально опасным явлениям, как наркомания, алкоголизм, антисоциальное поведение, правовой нигилизм и коррупция.

Молодой гражданин Казахстана, по мнению Главы государства, должен быть образованным, открытым мировым инновациям и в то же время не забывающим о своих корнях, традициях, обо всем лучшем, что отличает жителей именно нашей страны. Молодежь должна остаться носителем своей родной культуры, ее нужно обогащать, но не обезличивать. В руках молодых – будущее общества. Ведь они будущие хозяева нашей Родины. И, думая о ней, считает Нурсултан Абишевич Назарбаев, нужно делать все для того, чтобы сегодня в молодежной среде не было места национализму, социальному нигилизму, пьянству, наркотикам и, главное, равнодушию по отношению к людям, обществу и государству.

В воспитании патриотизма студенческой молодежи настойчивое внимание надо уделять поиску, поддержке и пропаганде и других героев нашего времени – социально активных, патриотически настроенных казахстанцев, добившихся серьезных успехов в профессиональной деятельности и жизни – видных ученых, общественных деятелей, рабочих и инженеров, деятелей культуры и так далее. Это даст нашим студентам позитивные жизненные ориентиры, научит гордиться своими выдающимися земляками и своей страной.

И конечно, примером для подражания и воспитателем студенческой молодежи должен быть каждый педагог. Здесь особо важны как его личные качества, нравственность, целеустремленность, порядочность, так и высокий профессионализм.

Для возрождения идеи патриотизма в условиях вуза имеются все возможности: содержание учебных курсов, формы внеучебной деятельности по различным дисциплинам, а именно научные общества, научные студенческие кружки, конференции, олимпиады, круглые столы, дискуссии, дебаты, диспуты, беседы, специально организованная внеучебная деятельность в обозначенном направлении. Этому будут содействовать и объективно существующие условия интернационального общения, поскольку в нашем вузе обучаются граждане не только Республики Казахстан, но и ближнего зарубежья. Необходимость патриотического воспитания в этих условиях определяется и тем, что будущим специалистам предстоит жить и работать, в первую очередь, в Казахстане на благо его народа, каждого гражданина, решая задачи воспитания в процессе выполнения различных социальных ролей (преподавателя, специалиста, родителя и др.).

Именно в идее патриотизма в единстве выступают национальные интересы. Эта идея не разобщает, а объединяет различные нации и народности, сплачивает их в единое братство. Большое значение идея патриотизма имеет и в развитии самой личности студента: формирует его сознание, определяет повседневную деятельность, отражается на характере творческих отношений, способствует развитию сущностных сил.

Реализация принципа патриотизма осуществляется конкретными людьми, отдельным человеком – патриотом, в нашем случае студентом.

В связи с этим патриотическое воспитание представляет собой целостный педагогический процесс, направленный на формирование и развитие патриотических качеств личности каждого гражданина Казахстана, приобщение его к деятельности на благо Отечества и народа; планеты Земля, Космоса; развитие стремления к гражданскому, духовному, нравственному и физическому совершенствованию, потребности в достойном служении стране и народу, защите их от различных посягательств. В целом патриотическое воспитание – это процесс формирования патриотического сознания и поведения личности, реализации ее творческого потенциала на благо своей Республики.

Таким образом, патриотическое воспитание – это разноплановый и разноуровневый процесс. Он охватывает государственные органы, политические партии и движения, общественные организации и объединения, осуществляющие целенаправленную и скоординированную деятельность по формированию патриота и гражданина Казахстана, верного своему Отечеству, готового выполнить свой гражданский и конституционный долг.

Патриотическое воспитание молодежи – это процесс, выходящий далеко за рамки образовательной системы, требующий плотного взаимодействия государства, семьи, школы и вузов, НПО, СМИ, армии и трудовых коллективов, многих других институтов государства и общества.

Патриотизм закладывается в наших сердцах с детских лет и проходит красной нитью через всю сознательную жизнь, определяет наш вклад в развитие родного государства.

Пересмотр традиционных представлений, взглядов, определений в воспитании является переменной в организации формирования патриотизма. Важно привлечь внимание всего общества к данной проблеме, включить в ее решение ученых, политиков и практиков воспитания, озабоченных судьбой новых поколений казахстанцев и будущего Республики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ишмухамедов К.А. Символ гордости и патриотизма: В традициях преемственности и патриотизма. Связь эпох неразрывна, достояние, завещанное великими предками, бесценно / К.А. Ишмухамедов // Казахстанская правда. 2008. 11 декабря. (№ 208-209). С. 3.
2. Конституция Республики Казахстан. Алматы: Юрист, [2007]. 39, [4] с.; 20 см. 1000 экз. ISBN 9965-562-49-0.
3. Республика Казахстан. Положение. Процветание, безопасность и улучшение благосостояния всех казахстанцев. Алматы: Юрист, [Послание Президента страны народу Казахстана от 28 февраля 1997 года]. ISBN 9965-442-61-4.
4. Курятов В.Н. Казахский патриотизм: идея, проблемы формирования: Государственная независимость Республики Казахстан – главная предпосылка формирования казахского патриотизма, его цели и задачи / В.Н. Курятов, С.М. Нестеренко, Л.А. Тусупбекова // Казахстанская правда. 2008. 18 января. (№12-13). С. 5.
5. Мукашев Т.Т. Молодежная политика как составная часть государственной социальной политики: Казахской молодежи следует дать возможность участвовать в подготовке усовершенствованной концепции молодежной политики, что будет способствовать популяризации инициатив молодежи в различных сферах / Т.Т. Мукашев. Астана: Академия государственной службы при Президенте РК, 2002. 325 с.
6. Зайниева Л.Ю. Государственная молодежная политика: Казахстан в контексте мирового опыта / Л.Ю. Зайниева. Алматы: Дайк-Пресс, 2006. 296 с.
7. Жумагулов Б.Т. Патриотизм – путеводная звезда молодых: Наша задача – дать поколению, устремленному в будущее, позитивные жизненные ориентиры, научить его гордиться своей страной / Б.Т. Жумагулов // Казахстанская правда. 2011. 16 июня. (№ 162). С. 3.

Кулмагамбетова Светлана Сатжановна – кандидат педагогических наук, доцент, проректор по делам молодежи Евразийской Академии, г. Уралск

Svetlana S. Kulmagambetova – Dr. Sc., Associate Professor Vice-Rector for Youth Affairs Eurasian Academy, Uralsk

Статья поступила в редакцию 05.07.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 316.356.2

Е.А. Назарова

ЦЕННОСТНЫЕ ОРИЕНТАЦИИ И САМОЧУВСТВИЕ МИГРАНТОВ И ИХ СЕМЕЙ

Анализируются социально-экономическое положение и жизненные стратегии семей мигрантов Саратовской области. Исследуются взаимосвязи и взаимоотношения данного микросоциума с социальной инфраструктурой. Выяснение того, как супруги-мигранты оценивают свое экономическое положение, на что надеются, какими средствами собираются обеспечить себя и свою семью. Представленный анализ важен для социологической науки и социальной взаимоотношения данного микросоциума с социальной инфраструктурой политики, поскольку проблема в России исследуется редко и фрагментарно, хотя представляет практический интерес для её практического решения.

Семья мигранта, дети, денежный доход, социально-психологическое самочувствие семьи

Е.А. Nazarova

SYSTEM OF VALUES AND FEELING OF MIGRANTS AND THEIR FAMILIES

The author has analyzed economic and social situation and living circumstances of Saratov region migrants' families. Interrelation and relationship of this microsocium

with social infrastructure are examined. The analysis presented in the article is of the importance for sociological science and social policy, because this problem is seldom and only fragmentarily studied in Russia, although it is of considerable practical interest.

Migrant family, children, cash income, social feeling of family

Далеко не последнее место в переустройстве общества отводится семье. И чем лучше самочувствие конкретной семьи, тем важнее эта роль, отводимая обществом и государством в целом. Однако, не все семьи отличаются тем самым хорошим самочувствием в обществе. К числу этих семей можно отнести семьи мигрантов. Они вступают в общество, для которого отличительно чертой является как социально-экономическая нестабильность, так и радикальная переоценка ценностей. Это сопровождается перестройкой социально-психологических основ семейного образа жизни и жизненных ориентиров, целей, отсутствием ясных способов реализации индивидуальных жизненных стратегий [1]. Поэтому именно в ней, как в зеркале, видны все противоречия и проблемы общества, вырисовываются контуры будущего, прогнозируется эволюция института семьи в целом. Чем тщательнее мы изучим современную семью мигранта и происходящие в ней перемены, тем более точно сможем прогнозировать вероятные сценарии будущего развития семьи в России.

Под миграцией населения понимается добровольное перемещение, переселение жителей в пределах страны из одного региона в другой регион (внутренняя миграция), или же переселение из одного государства в другую страну (международная миграция). Она подразделяется на безвозвратную (с окончательным переездом на новое место жительства), временную (перемещение на ограниченный срок пребывания), сезонную (перемещения в определённые периоды времени года), зависящую от времени года (туризм, лечение, учёба, сельхозработы), маятниковую – регулярные передвижения из данного пункта и возвращение в него [7].

Миграция – это очень широкое понятие, охватывающее все виды миграционных процессов. Несмотря на разнообразие представленных определений миграции, наиболее простое и, вместе с тем, емкое определение миграции дает Ж.А. Зайончковская. Миграция – это «переезд на постоянное место жительства» [8]. Суть этого определения заключена в том, что независимо от задач, которые ставит перед собой мигрант, главной остаётся конечная цель. Цель мигранта – переселение на новое место жительства. Подобные цели фиксируются только при въезде в страну пограничной статистикой, однако конечные цели мигранта могут изменяться в зависимости от факторов, определяющих дальнейшее его поведение [9].

В своем развитии семья осваивает множество новых ролей: самостоятельно содержать семью, вести семейный бюджет и домашнее хозяйство, осуществлять уход за детьми и их воспитание. Супруги выступают в роли агентов социализации по отношению друг к другу, распределяя права и обязанности. И тем сложнее исполнять эти роли, если семья находится в «неродном» для неё обществе, отличающимся культурными обычаями и традициями, религией, ценностными ориентациями и экологической ситуацией, наконец [6].

Формирование ценностных ориентаций семьи мигранта является составной частью процесса ее социо-культурной адаптации в современном обществе. Само понятие «ориентация» зародилось в физиологии, которая изучает ориентировочную деятельность людей в качестве основного средства выживания человека в социокультурных условиях. Понятие «ориентировочный рефлекс» впервые был введен И.П. Павловым, который охарактеризовал данное явление как совокупность действий индивида, направленных на ориентацию в ситуации. При помощи ориентации индивид выбирает значимые объекты, которые в результате оценки их полезности, важности для него получают статус «ценности». Выделяя индивидуальные ценности в социокультурной среде, учёные используют для их характеристики понятие «ценностные ориентации». Именно ценностные ориентации, выступающие в качестве целей жизни и основных средств их достижения, приобретают функцию важнейших регуляторов поведения индивидов. Причем цель выступает как «идеальное предвосхищение в сознании результата, на достижение которого направлены действия» [3]. Следовательно, ценностные ориентации являются связующим звеном между мотивом (побудительной силой) и целью (ориентиром) деятельности. «Мотивация выступает ключевым аспектом личности, поскольку она придает поведению направление» [4].

Мотивы и цели тесно связаны между собой. Отношение «мотив – цель» является своего рода «вектором», задающим направленность и интенсивность деятельности. При этом цель формирует содержание этой деятельности (Б.Ф. Ломов, 1991). Цель является необходимым источником развития.

Э. Шпрангер выделяет шесть типов объективных ценностей: теоретические (область науки, проблема истинности); эстетические (стремление к оформлению, выражению своих впечатлений, к самовыражению); экономические (материальные блага, полезность); социальные (общественная деятельность, обращенность к чужой жизни, чувство себя в другом); политические (власть как ценность); религиозные (смысл жизни) [5].

В каждом человеке в индивидуальном соотношении представлены все типы ценностей: руководящие, определяющие жизнь, образуют психическую структуру человека. В основу нашего исследования положена именно эта классификация и данный теоретический подход. При разработке собственной типологии ценностей мы исходили, прежде всего, из психологического понимания ценностей как некоего многомерного и иерархического их понимания [6].

Основная цель исследования – выяснение того, как супруги-мигранты оценивают свое экономическое положение, на что надеются, какими средствами собираются обеспечить себя и свою семью.

Материалы и методы исследования

Выборочная совокупность составила 80 семей, в которых насчитывается 263 чел. Из них проживают в городских округах 212 чел., в сельской местности 51. В них воспитываются 158 детей, при этом по массиву 17 семей имеют по одному ребенку (21,8%), 44 семьи - двое детей (54,6%), 16 – три ребенка (20,6%). Не имеют детей 3 (2,2%) семьи, а свыше трёх детей обнаружено лишь в 1 семье (0,8%) из общего исследованного числа семей мигрантов.

Касаясь вопроса трудовой занятости мигрантов, неоспоримым является тот факт, что мигранты занимают те рабочие места, на которые коренные жители, как правило, не претендуют. Федеральная миграционная служба (ФМС) знает точно, что мигранты не занимают рабочие места россиян. По сведениям ФМС в 2011-2012 годах временные трудовые мигранты заняли «плохие» рабочие места, малопривлекательные (низкооплачиваемые, с тяжелыми условиями труда) для российского населения. Безработные в российской провинции не горят желанием переехать в города, где есть работа. А мигранты едут именно туда, где она есть. И соглашаются на оплату и условия, которые им предлагают. В Россию, конечно, едут «мускулы», а не «мозги». Более 60 процентов мигрантов – это работники невысокой квалификации. Они совсем плохо говорят и понимают по-русски. Это не добавляет им профпригодности и создает дополнительную напряженность в общении. В 1990-х годах на заре массовой миграции таких проблем не было: в СССР все говорили по-русски. Все это накладывает отпечаток и на духовный мир мигранта, и на его образ и стиль жизни, и на формирование потребностей.

Исследования показывают, что большинство мигрировавших семей главным в своем психологическом самочувствии назвали уровень экономического и материального благополучия. Для них деньги являются основным содержанием представления о благосостоянии. Отсюда важнейшая проблема стабилизации и укрепления мигрировавшей семьи - это ее материальное обеспечение на достойном уровне. 63,4% семей Саратовской области беспокоят материальные проблемы, практически каждая вторая семья озабочена экономической нестабильностью, каждая шестая - безработицей, каждая третья - социальной незащищенностью. Далее в ранжированном ряду значимых проблем выделены: межнациональные конфликты (24,8%); бытовые проблемы (19,1%); высокий уровень преступности (15,8%); наркомания (10,3%); СПИД (5,5%); психологическая несовместимость (3,7%); межрелигиозные конфликты (2,6%). Помимо вышеперечисленных проблем молодые мигрировавшие семьи Новобурасского и Лысогорского районов беспокоит отсутствие мест отдыха, детских досуговых учреждений. Родителей Балашовского района волнует проблема алкоголизма, а Краснокутского - духовное и нравственное состояние общества.

Одно из важнейших условий социализации семьи мигранта - занятость. От решения этого вопроса зависят уровень жизни, жилищные условия, реализация творческого и профессионального потенциала. Наиболее высокий уровень тревоги отмечается в семьях с низкими доходами, в которых муж или жена являются безработными либо рабочими с низкой квалификацией, где профессия остается единственным источником дохода. Таких семей большинство. Поисками работы занимается в среднем 32 % семей мигрантов Саратовской области.

Правительство Саратовской области установило величину прожиточного минимума в регионе за I квартал 2012 года. На душу населения он составил 5 тыс. 357 рублей. Трудоспособному населению нужно ограничить свои потребности 5 тыс. 792 рублями, пенсионерам – 4 тыс. 286 рублями, а детям – 5 тыс. 179 рублями в месяц. Об этом сообщает сайт федерации профсоюзных организаций Саратовской области. Денежный доход семей мигрантов представлен в таблице.

Больше всего семей мигрантов находятся за чертой бедности, ниже величины прожиточного минимума около 40% опрошенных респондентов. Пятая часть приходится на долю малообеспеченных семей.

Денежный доход семьи	%
Ниже величины прожиточного минимума	19,2
Выше величины прожиточного минимума	34,8
От 15 до 20 тыс. рублей	28,5
От 20 до 25 тыс. рублей	9,1
Свыше 25 тыс. рублей	8,4

Источники дохода таких семей крайне ограничены: это заработная плата на «подработках», «шабашках» и «калымах», как они называют свою основную работу. Доходы от собственного дела не превышают 10%. В условиях экономического кризиса мало перспектив улучшить свое материальное положение.

Опираясь на уровень достатка, выстраивается схема расходов денежных средств. На вопрос: «Какая часть дохода вашей семьи используется на питание?» примерно половина семей (48,7%) отметили, что на питание расходуется 50% их семейного бюджета, меньше половины – 21,2%, 2/3 расходует каждая пятая семья, почти весь доход тратят на питание 11,5%.

На вопрос «Какие меры способны улучшить ваше положение?» Около 90% респондентов отметили повышение уровня оплаты труда. Жители Саратова как дополнительные меры назвали сдерживание цен на продукты питания и снижение оплаты жилья и коммунальных услуг.

Заключение

Ценностные ориентации семьи, состоящей из мигрантов, выступают мотивом сознательного поведения индивида. На их основе складываются социокультурные типы отношения граждан к процессам, происходящим в обществе. В процессе исследования был выявлен набор ценностей, которым мигранты-супруги отдают предпочтение. Это, прежде всего, базовые ценности, которые присущи всем профессиональным, образовательным и возрастным группам независимо от места проживания. Первое место в шкале жизненных ценностей занимает воспитание детей (86% опрошенных), на втором – здоровье (65%) и третье место по степени значимости занимает материальное благополучие (60,6%). Эти три вида ценностей занимают ведущие места во всех профессиональных группах не только по Саратовской области, но и во всей России. На четвертое место в шкале ценностей респонденты поставили любовь (54,8%). Совместный семейный отдых (33,7%) проигрывает желанию иметь интересную работу (35,4%). Уважение окружающих (уважение в семье, уважение друзей, соседей, коллег по работе) отметили 30,3% респондентов. Стремление к успеху выделяет для себя в качестве ценности каждая четвертая семья, ровно, как и к независимости (21,1%). Собственную карьеру хотят сделать 23,2% респондентов.

При сравнении ценностных ориентации обычных саратовских семей с семьями мигрантов обнаружилось, что разница по шкале ценностей не столь существенна. Лишь трём пунктам вызывают разногласия между двумя этими категориями семей – это воспитание детей, ценность «братства» и религия. Если в стремлении воспитать потомство среднестатистическая русская семья проигрывает всего на 8%, то по вопросу религии занимает последнее место в шкале ценностей (всего 2,4%) вместо 39,8% членов семей мигрантов. Как объясняют это сами мигранты, на чужбине им остаётся надеяться на самих себя и на своего бога. Ещё один пункт, по которому обычная российская семья уступает семье мигранта – это крепкая связь со своей общиной, с дальними родственниками, также приехавшими в поисках лучшей жизни в ту же местность, с людьми своей национальности и религии, со своими соотечественниками.

Как уже говорилось выше, в Россию приезжает по большей части рабочая сила, а не интеллект. Именно с этим и связано отставание мигрантов по шкале ценностей от русских семей в стремлении к знаниям и образованию. Однако это касается самих мигрантов, если же рассмотреть желание дать достойное образование своим детям, то здесь процент резко возрастает, как и у русских семей, так и у мигрировавших в Россию. Взаимосвязь «образование – благоустроенная жизнь в обществе» остаётся ясной в среде мигрантов, так и в принимающем социуме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неудачина И.Г. Современная российская молодая семья: гендерный анализ: автореф. дис.... канд. социол. наук. Екатеринбург, 2003. С. 7.
2. Постановление Верховного Совета РФ от 3 июня 1993 года № 5090 - 1 «Об основных направлениях государственной молодежной политики в РФ».
3. Философский словарь / под ред. М.М. Розенталя, П.Ф. Юдиной. М.: 1963.
4. Тейяр де Шарден П. Феномен человека. М., 1987.

5. Проблемы социальных взаимодействий в транзитивном обществе: сб. науч. тр. / под ред. М.В. Удальцовой. Новосибирск: НГАЭиУ, 1999. 124 с.
6. Тихомирова В.В. Социальное самочувствие и ценностные ориентации молодой семьи. Социологические исследования. 2010. № 2. С. 118-124.
7. Добренков В.И. Социология: в 3 т. Т. 2: Социальная структура и стратификация / В.И. Добренков, А.И. Кравченко. М.: ИНФРА-М, 2000. С. 477.
8. Зайончковская Ж.А. Миграция вышла из тени / Ж.А. Зайончковская // Отечественные записки. Журнал для медленного чтения. 2004. № 4 (18). (http://www.strana_oz.ru. Обращение к ресурсу: 26. 07.2008).
9. Жуковская Ю.О. К вопросу о социальной адаптации трудовых мигрантов в Российской среде / Ю.О. Жуковская // Журнал социологии и социальной антропологии. 2009. Том XII. № 1. С. 179-186.

Назарова Екатерина Анатольевна –
соискатель кафедры «Гуманитарные науки»
Энгельского технологического института (филиал)
Саратовского государственного технического
университета

Ekaterina A. Nazarova –
Postgraduate
Department of the Humanities
Engels Technological Institute
Part of the Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 316.42

А.В. Ручин, М.А. Дюндина

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДОВЕРИЯ В ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ СРЕДЕ

Исследованы проблемы доверия в предпринимательской среде, рассмотрены основные формы доверия, а также особенности влияния института предпринимательства на формирование доверия в обществе.

Доверие, сплоченность, солидарность, предпринимательство, развитие общества

A.V. Ruchin, M.A. Dyundina

FEATURES OF TRUST FORMATION IN THE BUSINESS ENVIRONMENT

The article is devoted to the problem of trust formation in the business environment. It is focused on the main forms of trust and particular features of the business institute influence on trust formation in society.

Trust, cohesion, solidarity, entrepreneurship, business, development of society

Рассматривая общество как социальную систему, мы выделяем институт предпринимательства как необходимый элемент, поддерживающий стабильность в обществе посредством выполнения специфических функций. Следовательно, развитие предпринимательства как основного элемента рыночной экономики есть основная задача развития общества в целом. Современный этап российских реформ со всей достоверностью показал, что основной характеристикой такого развития становится человеческое измерение модернизации [1], то есть, с нашей точки зрения, развитие предпринимательства прямо зависит от состояния социального доверия, сплоченности и солидарности. Становится ясно, что пренебрежение проблемой доверия в предпринимательской среде представляет собой препятствие к устойчивому развитию российского общества.

Уровень доверия является одной из важнейших установок, определяющих «характер взаимодействия гражданского общества и государства» [2]. К сожалению, российское общество характеризуется низким уровнем доверия. Внутренний мир современных россиян постоянно пополняется новыми знаниями об обществе, и потому представления россиян испытывают крайнюю неустойчивость ценностных ориентиров, приводя, в свою очередь, к неустойчивости структуры повседневного сознания [3]. Вот почему выявление зависимостей состояния доверия и сплоченности в среде предпринимателей, а также исследование факторов формирования доверия в предпринимательской среде является актуальным.

Понятие «доверие» достаточно обширно и неоднозначно, что предопределяет значительное количество его трактовок, а также типологий. Наиболее существенным критерием классификации выступает объект доверия. По объекту доверия существует ряд достаточно близких типологий форм доверия, например, доверие подразделяется на межличностное (между индивидами) и институциональное (доверие индивидов социальным институтам и их представителям), а также на личное (знающих друг друга людей) и безличное (неизвестных друг другу людей) [4]. Аналогичные формы доверия могут иметь несколько иные формулировки: межличностное и деперсонализированное (институциональное) доверие [5], а также персональное (основано на собственном опыте доверителя или на социальном сходстве и специфических качествах партнера), коллективное (распространено в деловых отношениях и необязательно предполагает личное знакомство с партнером или наличие специфических объединяющих признаков, а основано на групповом поведении в широком смысле слова) и институциональное/системное (является в высшей степени «обезличенным» доверием в отношении официально установленных правил, норм и предписаний) [6].

Кроме того, еще одним из критериев классификации доверия может являться предмет доверия, то есть на предмет чего мы доверяем тому или иному объекту. Предметом доверия могут выступать в первую очередь информация, получаемая от объекта доверия, и действия (бездействие) объекта доверия. Информация и действия могут, в свою очередь, подразделяться на более мелкие категории. Например, социальное действие может, по М.Веберу, являться одним из четырех типов: целерациональным, ценностно-рациональным, традиционным и аффективным [7]. В контексте формирования доверия к конкретным лицам, группам и институтам важным фактором является понимание характера результата действий, то есть то, насколько осознаются последствия действий объекта по отношению к субъекту, совпадает ли оценка действий, данная субъектом, с оценкой действий данной объектом доверия.

Множество критериев классификации создает многовариантность понимания феномена доверия на теоретическом уровне. В условиях же социальной реальности, когда иерархия критериев классификации доверия для каждого человека индивидуальна, неоднозначность этого феномена усиливается. Это может вызывать затруднения даже при оценке доверия к конкретному индивиду. Например, мы можем не доверять информации, предоставленной тем или иным лицом, но можем быть уверенными, что это лицо умышленно нам никогда не причинит вреда. Таким образом, по отношению к одному объекту может выстраиваться целая палитра чувств и оценочных суждений, связанных с определением доверия. Обобщенное по отношению к этому лицу доверие будет сложено из множества элементов с учетом значимости каждого параметра оценки доверия в структуре взаимодействий между индивидами.

Анализ особенностей формирования доверия в обществе, а доверие должно именно «вырабатываться, оно не возникает как нечто само собой разумеющееся» [8], на примере предпринимательской среды актуален по многим основаниям. Предпринимательство – это деятельность, основанная на постоянном поиске оптимального соотношения выгод и потерь, что обуславливает формирование наиболее устойчивых механизмов доверия, при этом особенности взаимоотношений между предпринимателями могут реплицироваться на весь коллектив фирм, в том числе влияют на характер поведения сотрудников в процессе повседневных взаимодействий. Предпринимательство как один из самых динамично развивающихся социальных институтов активно влияет на формирование социальных ценностей в российском социуме. Вместе с тем социальные процессы (по сравнению с экономическими) в предпринимательских структурах трудно поддаются государственному регулированию, что диктует конструирование новой национальной политики в пространстве социальных изменений.

Придерживаясь концепции развития общества Т. Парсонса, необходимо признать, что институт предпринимательства как структурный элемент общества будет стремиться к единой культурной ориентации, разделяемой в целом (хотя и необязательно единообразно и единодушно) его членами в качестве основы социальной идентичности. В контексте представленной темы это означает определенность модели социального доверия и предполагает два варианта развития социальной среды предпринимательства: модель всеобщего доверия или модель всеобщего недоверия. Очевидно, что в первом случае ускоряются процессы развития социально-экономической системы, но повышаются риски существенных потерь при единичных случаях деструктивного использования доверия. Во втором случае риски минимизируются, как и темпы развития российского общества.

Вместе с тем не стоит считать, что институт предпринимательства представляет собой гомогенную систему. Понятие предпринимательства, с одной стороны, интуитивно понятно и однозначно, с другой – весьма многообразно в толковании. Под предпринимателями мы можем понимать и крупных бизнесменов, и мелких лавочников. Несмотря на пропасть между данными группами, их объеди-

няют ключевые признаки: стремление к прибыли и действия в условиях риска. В этой связи возникает вопрос о специфике формирования доверия в предпринимательской среде и ее особенностях в зависимости от характера, масштаба и других параметров предпринимательской деятельности. Это предполагает рассмотрение вопросов формирования доверия в предпринимательской среде через призму сложного процесса институционализации предпринимательства как социального явления.

Важнейшим условием положительной динамики процесса институционализации является необходимый уровень взаимопонимания индивидов, социальных групп. Этот уровень достигается на основе взаимопонимания, способствующего, в конечном итоге, стабильной жизнедеятельности социальной системы. «Любая форма социального взаимодействия зиждется на описанных [типизирующих – А.В. Ручин] конструктах, при помощи которых понимается «другой» и модель действий вообще» [3]. Под системой, в данном случае по Н. Луману, понимается общество, интегративные качества которого напрямую зависят от степени единого толкования его членами социальных знаков символов, норм и правил. Таким образом, положительным результатом институционализации предпринимательства является утверждение в обществе норм и правил ведения социально-экономической деятельности, в основе которой – легитимность лишь социально полезных действий. «Понятие легитимации не нуждается в прилагательном «моральный» в современном смысле слова, но оно предполагает, что «правильно» то, что делается в соответствии с институционализированным порядком» [9].

По мнению П. Лукмана и Т. Бергера, «институционализация имеет место везде, где осуществляется взаимная типизация опривыченных действий деятелями разного рода» [10]. Их дальнейшие рассуждения приводят к выводу, что для социальных институтов присущи историчность и наличие общественного контроля. Иначе говоря, типизация действий имеет эволюционный характер опривычивания, то есть развитие институтов является результатом не одномоментного исторического акта, институты – продукты исторического развития.

Социальные потребности являются основным источником формирования института, а потому институционализация не может быть декларирована, она суть длительного исторического процесса. Характер институциональных реформ и социальные институты не могут быть привнесены или заимствованы извне, так как будут отторгнуты социокультурным полем конкретного общества. Более того, пренебрежение господствующей совокупностью норм и ценностей ведет к дисфункции института и, как следствие, к социальным сдвигам. Дело в динамичности социальной системы, что предполагает колебания от стабильности к нестабильности.

В условиях нестабильности усиливается внимание к постоянно существующим в обществе конфликтам, которые являются «антагонизмом прав и их обеспечения, политики и экономики, гражданских прав и экономического роста» [11]. Действительно, при формировании доверия и сплоченности в предпринимательской среде возникает проблема, заключающаяся в том, что предприниматель находится в постоянном конфликте с интересами других социальных групп, участвующих во взаимодействии: клиентами, сотрудниками, поставщиками, государственными органами. Не случайно изначально социологическая теория конфликта была развита именно на примере противоречий между буржуазией и пролетариатом [12]. В основе конфликта – базовые принципы существования рыночной экономики, в первую очередь – противоположность спроса и предложения на факторы и результаты производства. Отдельные авторы считают, что сегодня в России низкий уровень доверия к различным институтам повышает вероятность стихийных и разрушительных сценариев возникновения и развития конфликтов в трудовой сфере, в которой в скрытом, подавленном состоянии находится значительная часть конфликтов [13].

В рыночных условиях, как известно, компромиссным решением взаимодействия является цена сделки, которая в идеале должна быть равновесной для участников сделки, что должно привести к балансу их интересов. По нашему мнению, это определяет условия эффективного формирования доверия между социальными акторами. Но зачастую вследствие разного рода зависимостей условия взаимодействий могут диктоваться (в том числе неосознанно, латентно) одной из сторон, что приводит к дисбалансу интересов. Но даже в этих условиях за счет понимания и учета позиций одной стороны другой можно поддерживать доверительные отношения между партнерами. Для функционирования экономических систем необходимо поддержание хотя бы минимального уровня доверия: «очень трудно представить себе, как бы выглядела современная экономическая жизнь в отсутствие минимального уровня неформального доверия» [14]. Кроме того, в отдельных отраслях, например финансах, невозможно представить эффективно работающий бизнес без соответствующего доверия к нему, что диктует потребность даже в искусственном формировании доверия.

В России институт предпринимательства, несмотря на уже сравнительно длительный период развития, не приобрел четких очертаний. Кроме того, для России, по мнению ряда авторов, типичным

является доминирование недостиженческих начал, что ведет к утверждению в российском бизнесе недостиженческой логики: «успеха добивается не тот, кто ориентирован на меритократические принципы, а тот, кто реализует аскриптивно-клановые начала» [15]. Еще один парадокс развития российского предпринимательства – значительная доля неформальной экономики на фоне тенденции к увеличению формализации по причинам недоверия. Такая социальная картина приводит к институционализации неадекватной оценки условий взаимодействия в экономических отношениях, что, несомненно, создает барьеры для формирования доверительных отношений в предпринимательской среде.

Процессу модернизации российского общества недостает мобилизующего мотива и общественного механизма санкций, защищающего общее благо. Общественный же механизм санкций невозможен без солидарности и сплоченности общества. Низкий уровень доверия ко всем институтам не позволяет реализовывать механизм санкций как внутри самих институтов, так и с применением других. В результате образуется замкнутый круг, в котором для формирования доверия в обществе необходимы четко сформированные институты – в нашем случае предпринимательство, но процесс институционализации невозможен без принятия членами общества общих правил игры (норм и ценностей), удовлетворяющих всех или являющимися осознанным компромиссным вариантом, что невозможно без наличия хотя бы минимального доверия в социуме.

Выход из замкнутого круга и переход к устойчивому развитию российского общества требует мобилизующего мотива и общественного механизма санкций, что невозможно без создания нового поколения предпринимателей и пристального внимания к человеческому измерению модернизации. Человеческое измерение – результат скрупулезного учета местных условий, отказ от управленческих стереотипов и, прежде всего, внимание к людям, перспективным с точки зрения развития региона, а также понимания того, что институт предпринимательства представляет собой не гомогенную систему. Вот почему программа социологического исследования в рамках данного проекта сформулирована с учетом регионального аспекта, так как в успешном региональном развитии не все зависит от «центра» [16], и потому очень важно, чтобы местные органы власти для раскрытия потенциала предпринимательства уходили от аскриптивно-клановых начал, порождающих недоверие в обществе. Пренебрежение к проблемам доверия рождает в обществе крайнюю неустойчивость ценностных ориентиров и становится непреодолимым барьером на пути к стабильности. Очевидно, что пока не будет достаточного доверия общества и власти, развитие предпринимательства как основного элемента рыночной экономики не станет задачей общества в целом, а само предпринимательство не приобретет созидательную силу.

Таким образом, доверие и предпринимательство – два очень многогранных феномена, а их гармоничное сочетание позволяет конструировать новую национальную политику в пространстве социальных изменений. Формирование доверительных отношений в предпринимательстве – это процесс, характер которого определяется множеством факторов, но в его основе должно быть сочетание функциональности доверия в конкретных ситуациях и общественного контроля, предотвращающего риск деструктивного использования доверия.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 12-33-01294).

ЛИТЕРАТУРА

1. Лапин Н.И. Человеческое измерение модернизации // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Вып. 7. / РАН. ИНИОН. Отд. Науч. сотрудничества и междунар. связей; Отв. ред. Ю.С. Пивоваров. М., 2012. Ч. 1. С. 92-98.
2. Мерсиянова И.Е. Роль доверия к госслужащим во взаимодействии гражданского общества и государства / И.Е. Мерсиянова, Е.И. Пахомова, В.И. Якимец // XII Междунар. научн. конф. по проблемам развития экономики и общества: в 4 кн. / Отв. ред. Е.Г. Ясин. М.: ГУ ВШЭ, 2012. Кн. 1. С. 241-251.
3. Шюц А. Структура повседневного мышления / А. Шюц // Социологические исследования. 1988. № 2. С. 129-137.
4. Звоновский В.Б. Повседневное межиндивидуальное безличное доверие как фактор хозяйственной деятельности / В.Б. Звоновский // Мир России. 2007. №2. С. 133-151.
5. Барсукова С.Ю. Неформальная экономика: экономико-социологический анализ / С.Ю. Барсукова. М.: ГУ ВШЭ, 2004. 448 с.
6. Вельтер Ф. Структуры управления сетевыми сообществами малых предприятий и роль доверия: германо-российское сопоставление / Ф. Вельтер, Т. Каутонен, А.Ю. Чепуренко, Е. Мальева // Экономическая социология. 2004. Т. 5. № 2. С. 13-36.

7. Вебер М. Избранные произведения: пер. с нем. / М. Вебер; сост., общ. ред. и послесл. Ю.Н. Давыдова; предисл. П.П. Гайденко. М.: Прогресс, 1990. 808 с.
8. Гидденс Э. Ускользящий мир. Как глобализация меняет нашу жизнь / Энтони Гидденс; [пер. с англ. М. Л. Коробочкина]. М.: Весь мир, 2004. 116 с.
9. Парсонс Т. Понятие общества: компоненты и их взаимоотношения / Т. Парсонс // THESIS: теория и история экономических и социальных институтов и систем. 1993. № 2. С. 94-122.
10. Островская Е.А. Концепции институционализации в германской теоретической социологии второй половины XX века / Е.А. Островская // Вестник РУДН. Сер. Социология. 2003. №1(4). С. 96-113.
11. Дарендорф Р. Современный социальный конфликт. Очерк политики свободы / Ральф Дарендорф; пер. с нем. Л.Ю. Пантиной. М: РОССПЭН, 2002. 284 с.
12. Маркс К. Манифест Коммунистической партии / К. Маркс, Ф. Энгельс. М.: Политиздат, 1989. 62 с.
13. Виноградова Е.В. Отношения сотрудничества и конфликта в представлениях российских работников / Е.В. Виноградова, И.М. Козина // Социологические исследования. 2011. № 9. С. 30-40.
14. Фукуяма Ф. Доверие: социальные добродетели и путь к процветанию: пер. с англ. / Ф. Фукуяма. М.: ООО «Издательство АСТ»: ЗАО НПП «Ермак», 2004. 730 с.
15. Эфендиев А.Г. Социальная организация российского бизнеса сквозь призму социальных механизмов трудоустройства / А.Г. Эфендиев, Е.С. Балабанова, А.С. Гоголева // Мир России. 2010. №4. С. 69-105
16. Регионализм как убеждение и ценность // Альтернативы регионального развития (Шабунинские чтения) [Текст]: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. Волгоград, 8-9 окт. 2010 г. / редкол.: Д.В. Грушевский (отв ред) [и др.]. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2010. С. 11-20.

Ручин Алексей Владимирович –
кандидат социологических наук, доцент
кафедры «Учет, финансы и банковское дело»,
Саратовского института (филиала)
Российского государственного торгово-
экономического университета

Alexey V. Ruchin –
Ph. D., Associate Professor
Department of Accounting, Finance and Banking
Gagarin Saratov State Technical University

Дюндина Мария Алексеевна –
соискатель кафедры «Социология, социальная
антропология и социальная работа»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Mariya A. Dyundina –
Postgraduate
Department of Sociology, Social Anthropology
and Social Work
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 07.05.12, принята к опубликованию 06.09.12

ЭКОЛОГИЯ

УДК 574.3

А.С. Иванова, Д.Н. Бечина

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ В СНИЖЕНИИ ШУМА

Описана техника закладки пробных площадей и приведена методика исследования насаждений. Дана оценка жизненного состояния деревьев, определенная визуально по состоянию ствола и кроны дерева. Для анализа древостоя выбрана шкала Алексеева. Результаты, полученные в ходе исследований, позволили выявить наиболее оптимальные типы насаждений в снижении шумового режима.

Древостой, объект исследования, насаждения, пробная площадь, сомкнутость полога, уровень звука

A.S. Ivanova, D.N. Bechina

ENVIRONMENTAL JUSTIFICATION FOR PLANTS IN THE REDUCTION OF NOISE

The article describes a technique for creating sample plots and a method for the study of plants. Estimation of the state for a living tree determined visually through the trunk and tree crown status. Alexeyev scale was chosen for the analysis purposes. The results of the research allowed to identify the most appropriate types of trees which help reduce the noise coefficient.

Stands, object of study, the plantations, a sample plot, closed canopy, sound level

Введение

В статье предложена методика исследования защитных лесных насаждений вдоль автомобильных дорог. Цель исследования – экологическое обоснование роли зеленых насаждений в снижении уровня шума. На пути решения поставленной цели были заложены пробные площади и дана оценка жизненного состояния древостоя, для анализа выбрана шкала Алексеева. На объектах исследования определен видовой и породный состав насаждений, выявлены приемы посадок.

Техника закладки пробных площадей и методика исследования древостоя с целью определения роли насаждений в снижении шумового режима на объектах

Места для закладки пробных площадей выбрали таким образом, что все ее части были однородные по всем таксационным показателям и условиям местопрорастания. Размер пробной площади включал наличие 200 деревьев [1]. В качестве примера предлагалось рассмотреть пробную площадь. Участок защитных насаждений выбран вдоль автомобильной дороги Пенза – Саратов с потоком автотранспорта, включающим легковые и грузовые автомобили, автобусы и т.д. Исследуемая защитная полоса шириной 9,0 м находится на территории Татищевского района, между поселком Сторожовка и селом Широкое.

На рис. 1 представлена схема насаждения, которая отражает структуру исследуемых посадок (1 ряд – смородина золотая (*Ribes aureum*); 2 ряд – ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*); 3-5 ряды – береза повислая (*Betula pendula*); 6 ряд – смородина золотая, видовой состав, расстояние между породами и до автомобильной дороги).

Каждое дерево нумеровалось. Измерение диаметров деревьев велось мерной вилкой в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точностью 0,1 см на высоте 1,3 м от шейки корня. Деревья учитывались по породам, происхождению, жизненному состоянию.

Данные перечета деревьев заносились в специальную ведомость, в которой из двух измеренных диаметров рассчитывалось среднее значение [1].

Измерение высоты насаждений производился эклиметром-высотометром ЭВ-1. Отсчет величины осуществлялся через визирную лупу в корпусе прибора. Для получения действительной величины высоты к показаниям по шкале прибавляли 1,5 метра [3].

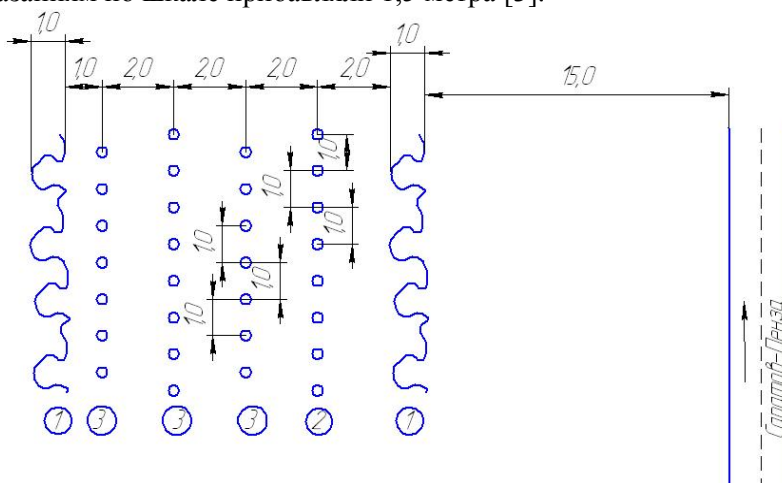


Рис. 1. Схема защитной полосы: 1 – Смородина золотая (*Ribes aureum*); 2 – Ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*); 3 – Береза повислая (*Betula pendula*)

Следующий шаг – определение сомкнутости полога. Это один из основных показателей, характеризующих размеры фотосинтезирующего аппарата древостоя. Сомкнутость полога на пробной площади измерена линейным способом (Филиппов, Пирогов, 1980). Двигаясь в двух взаимно перпендикулярных направлениях от дерева к дереву по ломаным линиям, измерялась общая протяженность линий (L1 и L2) и суммарная протяженность просветов на этих линиях (l1 и l2). При этом просветы внутри кроны не учитывались [1]. Степень сомкнутости полога (Сп) выражалась в десятых долях единицы и рассчитывалась по формуле

$$C_n = (L1-l1)(L2-l2)/L1L2. \quad (1)$$

Данные, полученные летом 2010 и 2011 годов, различаются. Лето 2010 года относят к продолжительному периоду аномально жаркой погоды в России, особенно последняя декада июня-первой половины августа 2010 года.

Из-за засухи и жары существенно пострадали сельскохозяйственные угодия, парковые насаждения, травы, кустарники, лиственные леса, которые не приспособлены к длительному воздействию высокой температуры воздуха [3]. Результаты исследований на пробной площади в 2011 году показали существенные различия с данными 2010 года. Произошел большой выпад березы повислой. Это отражено в показаниях сомкнутости данных насаждений: $C=0,9$, что говорит о высокой степени сомкнутости насаждений на рассмотренной пробной площади в 2010 году. В 2011 году степень сомкнутости очень низкая – показатель равен 0,3.

Затем на участках пробной площади провели измерения шумового режима. Исследования уровня шума в природных условиях осуществлялись прибором: шумомер интегрирующий-виброметр типа ШИ-01В с цифровым анализатором спектра МГФКБ968620.110. Измерения проводились согласно ГОСТ – 20444-85.

Места проведения измерений выбирались на участке дороги на расстоянии более 50 метров от перекрестков, транспортных площадей и остановочных пунктов. Погодные условия: ясные дни, без осадков и при скорости ветра не более 5 м/с. Время проведения замеров утром с 8:00, вечером с 17:00. Период измерения шумовой характеристики транспортного потока охватывал проезд 200 транспортных единиц.

Измерительный микрофон шумомера направлялся в сторону основного источника шума и удален от оператора, проводящего измерения, не менее чем на 0,5 м. Высота прибора от поверхности дороги 1,5 м (рис. 2).

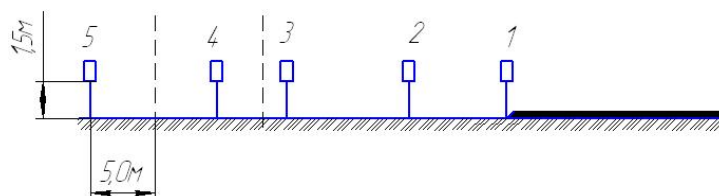


Рис. 2. Схема расположения шумомера по отношению к насаждениям: 1 – у кромки дороги; 2 – 7,5 м от дороги; 3 – перед насаждениями; 4 – внутри насаждений; 5 – за насаждениями

Режим измерения прибора устанавливался в положение «dBA». Переключатель временной характеристики – в положение «S» медленно. Измерения уровня звука проводились в пяти точках: у кромки дороги, 7,5 м от дороги, перед насаждениями, внутри насаждений, за насаждениями (рис. 2). Значение уровня звука принимались по средним показаниям L_{eq} , с точностью до 1 дБ [5]. В табл. 1, 2 представлены уровни звука, период измерений 2010-2011 годы.

Таблица 1

Уровни звука на пробной площади за 2010

сезон: лето 2010		время суток: с 8:00			
	у кромки дороги	7,5 м от дороги	перед посадками	в посадках	за посадками
Автодорога Саратов – Пенза					
Защитная полоса	71,3	66,6	64,1	62,3	50,7
Контрольная точка	72,9	66,8	65,0	64,8	63,7
сезон: лето 2010		время суток: с 17:00			
	у кромки дороги	7,5 м от дороги	перед посадками	в посадках	за посадками
Автодорога Саратов – Пенза					
Защитная полоса	72,8	65,6	64,2	62,9	59,4
Контрольная точка	73,9	65,3	65,0	64,4	64,0

Таблица 2

Уровни звука на пробной площади за 2011

сезон: лето 2011		время суток: с 8:00			
	у кромки дороги	7,5 м от дороги	перед посадками	в посадках	за посадками
Автодорога Саратов – Пенза					
Защитная полоса	72,2	65,9	64,3	63,3	61,0
Контрольная точка	73,3	65,4	64,0	63,0	61,3
сезон: лето 2011		время суток: с 17:00			
	у кромки дороги	7,5 м от дороги	перед посадками	в посадках	за посадками
Автодорога Саратов – Пенза					
Защитная полоса	72,2	65,1	64,9	63,8	61,4
Контрольная точка	73,0	65,9	64,4	64,0	63,3

Анализ данных табл. 1, 2 показывает, что выпад березы повислой из схем смешения на объекте влияет на уровень шума. Значение эквивалентного уровня звука за насаждениями на пробной площади в 2011 году составило 61,0 дБ. Данная величина значительно превышает предел допустимых норм [4].

Жизненное состояние древостоя определялось визуально по состоянию ствола и кроны дерева. Для анализа выбрана шкала Алексева [1].

Оценка жизненного состояния древостоя произведена по формуле

$$L_v = 100V_1 + 70V_2 + 40V_3 + 5V_4 / \sum V, \quad (2)$$

где V_1, V_2, V_3, V_4 – запас древесины соответственно здоровых, ослабленных, сильно ослабленных и усыхающих деревьев, m^3 ; 100, 70, 40, 5 – относительное жизненное состояние, %; $\sum V$ – общий запас древесины в древостое, включая запас сухостойных стволов, m^3 .

Жизненного состояния древостоя в 2010 году оценивается как здоровое, так как величина $L_{200} = 79$, 9%. В 2011 году показатель $L_{200} = 45$, 88%, здоровый древостой на пробной площади стал сильно ослабленный.

Заключение. Представленные данные позволяют дать оценку древостою. Полученные результаты на пробной площади в 2010 и 2011 годах позволяют говорить о том, что насаждения влияют на уровень шума. Величина зависит от жизненного состояния древостою. При снижении показателя сомкнутости насаждений уровень шума снижается значительно меньше. В нашем случае на одной и той же пробной площади до и после выпада породы из схемы смешения показатели снижения уровня эквивалентного уровня звука различаются. В связи с этим лесную полосу, рассмотренную в статье, в первоначальном виде можно рекомендовать для использования на участках, нуждающихся в защите от шума. При этом следует учесть, что в связи с аномальными климатическими условиями, которые наблюдались в 2011 году, такая порода как береза повислая на территории Саратовской области имеет тенденцию выпадения из схем смешения. В связи с этим древостой не снижает шум до допустимых норм и не является оптимальным решением при уменьшении акустического загрязнения вблизи населенных пунктов, расположенных вдоль автомобильных дорог Саратовской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общее положение по закладке пробных площадей / Таксация пробных площадей: методические указания к дипломному проектированию для студентов специальности 260400 – Лесное хозяйство / сост. С.В. Кабанов, М.В. Трус, А.В. Терешкин. Саратов, 2004. 72 с.
2. Охрана окружающей среды в Саратовской области 2009 /Федеральная служба государственной статистики территориальной организации по Саратовской области. Саратов, 2010, 62 с.
3. Устройство и принцип работы / Паспорт эклиметра-высотомера ЭВ-1. 10 с.
4. ISO/R1996 Уровни звука, допустимые в различных функциональных зонах / Международные стандарты для торговли, государства и общества. М., 2007. 20 с.
5. ГОСТ 20444-85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. М.: Изд-во стандартов, 1985. 16 с.

Иванова Анастасия Сергеевна – аспирант кафедры «Механизация лесного хозяйства и лесомелиорации» Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

Anastasia S. Ivanova – Postgraduate
Department of Mechanization of Forestry and Forest Reclamation
Vavilov Saratov State Agrarian University

Бечина Диана Николаевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Садово-парковое и ландшафтное строительство» Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова

Diana N. Bechina – Ph. D., Associate Professor
Department of Garden and Landscape Design
Vavilov Saratov State Agrarian University

Статья поступила в редакцию 12.04.12, принята к опубликованию 06.09.12

Такая декомпозиция, структуризация инновационного проекта позволяют разделить его на подпроекты, что создаёт возможность управлять проектом и прослеживать образование и распределение финансовых потоков и обеспечивать его экономическую эффективность.

Инновационный проект делится с помощью чётко обозначенных отдельных вех на ряд последовательных переделов. Каждая веха фиксирует завершение этапа, принадлежащего отдельному владельцу продукции и отражающего смену деятельности, выпуск автономной промежуточной (или конечной) продукции. Каждый этап – инновационный передел создаёт добавленную стоимость, которая образует или увеличивает (изменяет) стоимость промежуточной или конечной продукции.

Инновационный передел – это этап технологической цепи инновационного процесса, обеспечивающего создание новой, добавленной стоимости и, кроме того, образование новой дополнительной потребительской стоимости. На момент каждой вехи жизненного цикла проекта, на стыке цепочки инновационного процесса осуществляется передача продукции новому участнику, чаще всего путём купли-продажи. По сути дела, инновационный передел является отдельным проектом, который характеризуется автономией, наличием альтернатив для исполнения, назначением владельца подпроекта, конкретным результатом, требованием обоснования и передачи продукции новому очередному владельцу.

Отображение цикличности и повторяемости процессов продвижения и расширенного воспроизводства стоимости по переделам в периоды выпуска и использования промежуточной продукции формирует рекуррентную модель экономической эффективности инновационных жилищно-строительных проектов. Продукция (промежуточная, конечная) передаётся (продаётся) к следующему этапу проекта по установленной цене, которая должна быть в пределах дисконтированной стоимости (эффективности) последующего передела. Экономическая эффективность (дисконтированная стоимость) образуется путём вычета из поступлений (результатов) передела затрат на выпуск продукции. К поступлениям следует отнести не только выручку от реализации по установленным ценам, но и внешние платежи (субсидии и проч.). Формируется новая цена по очередному переделу с учётом расчётных затрат, нормы прибыли и потребительской надбавки. Образуется последующая эффективность на переделе и т.д.

Итак, рекуррентная модель формализуется таким образом: на $i-1$ переделе в общем случае устанавливаются цены на компоненты (материалы, работы) $ц_{i-1}$ и на всю промежуточную продукцию $Ц_{i-1}$:

$$Ц_{i-1} \leq Э_i;$$

где $Э_i$ – экономическая эффективность проекта на i -переделе; $эр_i$ – экономическая эффективность для r -компонентов i -передела.

На i -переделе при статичном подходе к оценке эффективности инновационных проектов результаты в общем случае для i -передела определяются:

$$P_i(t) = Ц_i(t) + ПП_i(t);$$

где $ПП_i$ – прочие поступления для i -передела (субсидии и проч.).

На i -переделе затраты в общем случае определяются:

$$З_i(t) = K_i(t) \alpha t + \sum I_i(t) \alpha t - ЛТ_i \alpha t;$$

где $K_i(t)$, $I_i(t)$, $Л_i T$ – единовременные, текущие затраты по проекту и ликвидационное сальдо задействованных основных фондов.

В качестве текущих затрат на i -переделе выступает себестоимость продукции:

$$C_i = C_{i-1} + C_i';$$

Рассчитываются показатели экономической эффективности для i -передела:

$$Э_i = \sum P_i(t) \alpha t - \sum Z_i(t) \alpha t;$$

Формируется цена на продукцию $Ц_i$ и для отдельных компонентов $ц_i$ -передела:

$$Ц_i = C_{i-1} + C_i' + ПП_i + H_i;$$

C_{i-1} – компонента стоимости продажи – приобретения – аренды продукции предыдущего $i-1$ передела, относимая на расходование (затраты) для последующего i -передела.

C_i' – себестоимость продукции i -передела (без учёта компоненты стоимости предыдущего передела).

Проверяется обеспечение обязательного и желаемого требования:

$$Ц_i \leq Э_{i+1}; ц_i \leq э_{i+1};$$

Далее циклы алгоритма повторяются.

Математическую модель можно записать с помощью рекуррентной формулы, связывающей чистую дисконтированную стоимость последующего передела $Х_{k+1}$ для расширенного воспроизвод-

ства со стоимостью предшествующего – дисконтированной стоимости X_k , с использованием a -коэффициента прироста стоимости:

$$X_{k+1} = a \cdot X_k.$$

В модели воспроизводства (приращения) стоимости учитывается инкрементный доход, получаемый от экономии затрат и потребительский доход от инноваций. Блок-схема рекуррентной модели выглядит так (рис. 2).

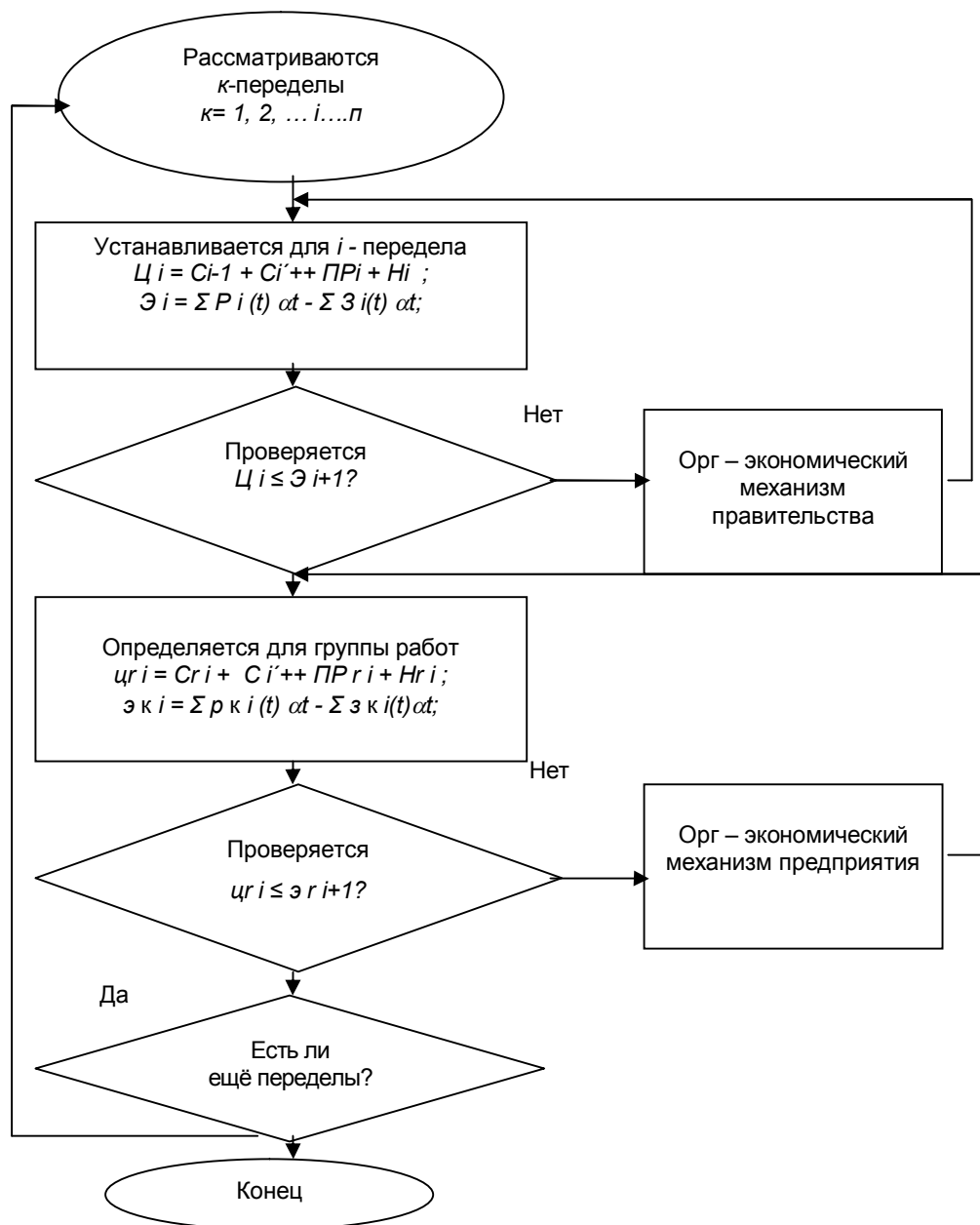


Рис. 2. Блок-схема алгоритма циклов расширенного воспроизводства стоимости рекуррентной модели инновационного проекта

Цена приемлемая для производителя-продавца на промежуточную (или конечную) продукцию i -периода C_i , определяется при условии

$$C_{min\ i} \leq C_i \leq C_{max\ i};$$

Минимальную цену устанавливают на следующем уровне:

$$C_{min\ i} = C_i + PPi;$$

Максимальная цена монопольного уровня определяется при условии

$$C_{max\ i} \leq E_{i+1};$$

Максимальная цена регулируемого уровня определяется

$$C \max i \leq \sum_{i=1}^n \mu_i$$

μ_i – эффектообразующий коэффициент, характеризующий долю задействования i -передела в проекте.

Интегральная эффективность определяется как суммарная по переделам:

$$\Theta = \sum \varepsilon_i;$$

При известном значении интегральной эффективности конечной продукции показатели по переделам определяются

$$\varepsilon_i = \Theta \beta_i;$$

β_i – коэффициент весовой характеристики i -передела.

Кумулятивная эффективность (нарастающим итогом) Θ_i на момент завершения i -передела определяется путём суммирования предшествующих значений эффективности ε_i .

Рекуррентная модель предусматривает множество циклов преобразований форм изменения продукции по переделам.

Гипотетически можно считать преобразования бесконечными, т.е. принимать завершающими циклы по улучшению качества жизни людей или благосостояния общества. Практически последними переделами следует считать передачу недвижимости новому собственнику после возмещения инвестированных средств и для последующей эксплуатации.

Предлагаемая автором рекуррентная модель является самонастраивающейся, способной отражать изменяющуюся во времени динамику стоимостных параметров рыночной оценки компонентов и продукции инновационных переделов проекта. Таким образом, модель следует считать прогнозной, адаптивной. При установлении текущих значений параметров цен, себестоимости продукции для передела делается прогноз оценки параметров на следующий шаг вперёд. При отклонениях параметров за предельный уровень принимаются решения (изменение организационной формы и контракта взаимодействия участников проекта) при помощи организационно-экономического механизмов разных уровней. Модель призвана отреагировать «компенсирующими» изменениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виленский П.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов / П.Л. Виленский, В.М. Лившиц, С.А. Смоляк. М.: Дело, 2002.
2. Лившиц В.Н. Учёт нестационарности при оценке инвестиций в России / В.Н. Лившиц, С.В. Лившиц // Аудит и финансовый анализ. 1999. №1.
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. (Вторая редакция): офиц. издание. М.: Экономика, 2000.

Абашев Сергей Сергеевич – аспирант кафедры «Экономика и управление в строительстве» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Sergey S. Abashev – Postgraduate Department of Economics and Management in Construction Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 12.08.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 338.24 : 338.43

Авдеева Ю.А.

УПРАВЛЕНИЕ АДАПТАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ОРГАНИЗАЦИЙ В СФЕРЕ ТЕХНИЧЕСКОГО АГРОСЕРВИСА АПК

Предлагается алгоритм управления адаптационной деятельностью, адаптивный механизм гармонизации взаимовлияния организаций технического агросервиса и субъектов агробизнеса регионального АПК.

Адаптация, адаптационная деятельность, технический агросервис АПК

Yu.A. Avdeeva

**MANAGEMENT ADAPTATION ACTIVITIES
OF TECHNICAL ORGANIZATIONS AGROSERVIS AIC**

Control algorithm is proposed adaptation, adaptive mechanism of mutual harmonization of technical agricultural service organizations and entities of the regional agribusiness agribusiness.

Adaptation, adaptation activities, technical agricultural service AIC

Сегодня в научных и деловых кругах отечественного агробизнеса всё чаще используются такие термины как «адаптивное управление», «адаптация», «гармонизация», «саморегулирующая система» и т.п., но аксиоматически убедительное и аргументированно полное раскрытие конкретных характеристик этих категорий, на наш взгляд, в экономической литературе пока отсутствует. Это, по нашему мнению, является следствием относительно более низкого качества результатов маркетинговой науки и практики адаптационной деятельности в АПК по сравнению с другими областями народного хозяйства.

Таким образом, мы считаем актуальным констатировать наличие методологического «пробела», восполнение которого создаст необходимые предпосылки для формирования системы научно обоснованных рекомендаций по осуществлению управления адаптивным развитием сферы технического агросервиса АПК.

Исходное, в контексте нашего исследования, понятие «адаптация» (латинск. adaptatio – приспособление) впервые было использовано в биологии [2]. И до настоящего времени под адаптацией, как правило, понимают пассивное действие (либо вообще - бездействие) с единственной целью – выживание в окружающей среде. Широко известны такие формы её проявления, как эволюция, привыкание, обучение и самообучение, организация, самоорганизация и т.д. [4].

Основная цель изучения методологии процессов адаптации, на наш взгляд, должна состоять именно в отыскании объективных причин и универсальных механизмов гибкости процессов адаптации в биологических и социальных системах с последующим их перенесением в организационно-экономические и технические системы. Без понимания методологической сущности процессов «адаптации» совершенно невозможно эффективно управлять адаптационной деятельностью таких сложных объектов, какими являются ремонтно-обслуживающие предприятия АПК, т.е. цели управления организации без достаточного уровня адаптации не будут достигнуты.

Несмотря на очевидную актуальность, многие вопросы механизма адаптации ремонтно-обслуживающих предприятий к функционирующему в АПК агросервисному рынку сегодня исследованы еще недостаточно. В частности, не обоснованы критерии его эффективности, не определены основные показатели (их единицы измерения) и способы управления адаптационной деятельностью к современным рыночным условиям.

В отличие от подавляющего большинства биологических объектов, ремонтно-обслуживающие предприятия АПК изначально не имеют способностей к «самоадаптации». Это во многом объясняет необходимость управления процессами адаптации каждого ремонтно-обслуживающего предприятия к агросервисному рынку. На функциональном уровне под управлением их адаптационной деятельностью понимается совместная проектно-программная деятельность участников бизнес-процесса по обеспечению региональной адаптации бизнес-единицы на протяжении всего её жизненного цикла. Ведущая роль в этом процессе принадлежит основным его участникам – руководству ремонтно-обслуживающих предприятий, органам управления агробизнесом и органам региональной власти.

Вышеизложенное позволяет нам считать, что применительно к организационно-экономическим и техническим системам более корректно использование экономической категории – «адаптационная деятельность», а не «адаптация». Есть основания полагать, что в современных экономических условиях использование понятия «адаптационная деятельность» позволит более рельефно обозначить активность субъектов адаптации и сократить сохраняющийся пока дисбаланс между теоретическими наработками адаптивного аппарата агромаркетинга и их практическим применением в адаптационной деятельности.

При этом адаптационная деятельность ремонтно-обслуживающих предприятий АПК к рынку агросервисных услуг понимается нами, в широком смысле, как система адаптационных мероприятий, последовательно реализуемых производителем продукции (работ, услуг) с целью расширения рыночной доли или сохранения прежних позиций на рынке при изменении конъюнктуры рынка агросервисных услуг, то есть с использованием основных элементов маркетинга.

В настоящее время адаптационная деятельность становится невозможной без организационных и технологических инноваций, а переход к новому равновесию требует приспособления к изменяющейся внешней среде.

Важнейшим условием успешной деятельности ремонтно-обслуживающих предприятий АПК становится адаптация к изменениям, происходящим в конкурентной рыночной среде. В связи с этим наиболее сложной проблемой ремонтно-обслуживающих предприятий АПК, является выявление проблемных мест в их деятельности, не позволяющих им в полной мере соответствовать конъюнктуре агросервисного рынка. Таким образом процессы адаптации должны быть тесно связаны с поиском факторов, негативно влияющих на работу предприятия, и организацией преобразований внутренней среды предприятия.

Проведённый нами анализ производственно-коммерческой деятельности наиболее адаптированных, а потому успешных в современных условиях ремонтных предприятий Саратовской области показал, что на эффективность управления оказывает влияние ряд относительно новых, ранее недостаточно учитываемых либо игнорируемых, как внешних, так и внутренних факторов.

К внешним факторам, на наш взгляд, следует отнести: усиливающуюся интенсификацию вариативности рыночных процессов; резкий рост конкуренции на рынке услуг технического агросервиса АПК; значительное сокращение временного интервала жизненного цикла продукции; прогрессирующую индивидуализацию потребительских качеств товаров и услуг.

К внутренним факторам важно отнести: непонимание (недопонимание) руководством организаций рыночной природы происходящих перемен; неумение (нежелание) донести суть реализуемой стратегии до всего персонала; обеспечить поддержку плана и следования ему; отсутствие чёткой стратегической фокусировки, привязка к календарным планам; финансовая направленность стратегических решений.

Адаптация внутренней организационной структуры ремонтно-обслуживающих предприятий АПК к условиям функционирования организации с учетом особенностей её профиля, технологического типа, конкурентной среды, создание внутренних (и, по возможности, внешних) условий предполагает качественное изменение применяемой технологии, способа организации производства и форм взаимодействий с внешней средой, т.е. требует научно-обоснованных технических и организационно взвешенных подходов к решению экономических задач и использования управленческо-технологических, инвестиционных и главное маркетинговых операций.

Гипотетически возможны две формы адаптационной деятельности:

– пассивная, на «остаточной» основе, за счет благоприятного стечения обстоятельств, т.е. следует говорить о неустойчивых формах адаптации, не имеющих долгосрочных перспектив;

– активная в соответствии с мировыми нормами конкурентоспособности, обеспечивающими стабильный адаптационный потенциал, который может быть реализован при любой конъюнктуре рынка.

На практике их может быть гораздо больше (таблица) [1].

Модели хозяйственных стратегий и адекватные им формы адаптации

Хозяйственная стратегия	Вид адаптации предприятия	Характерные черты
Активная рыночная стратегия	Конструктивная, инновационная адаптация	Активная инновационная политика, сотрудничество с наукой, зарубежными фирмами, устойчивые связи с хозяйственными партнерами
Традиционная хозяйственная стратегия	Компенсационная адаптация	Использование ресурсов, которые могут быть непосредственно задействованы в процессе воспроизводства
Переходно-стабилизационная хозяйственная стратегия	Стабилизационная адаптация	Целью стратегии является стабилизация обстановки
Неадекватная хозяйственная стратегия	Депривационная адаптация	Комплекс защитных мер и приспособлений, отраженные в реализуемой хозяйственной стратегии, направлен скорее на самосохранение, выживание, нежели на развитие
Пассивно-выжидательная хозяйственная стратегия	Деструктивная разрушительная адаптация	Пассивное ожидание перемен и помощи сверху, отсутствие инноваций

Адаптационная стратегия организации в виде простых правил, как и любая другая эффективная стратегия, призвана определить для организации её уникальный путь. Но эта уникальность, в отличие от традиционных стратегий, возникает не на основе тесной взаимосвязи систем функционирования или развития ключевых компетенций, а путем фокусирования адаптационной деятельности на ключевых стратегических процессах и выработки простых принципов, направляющих эти процессы.

На наш взгляд, к таким принципам управления адаптационной деятельностью, применительно к ремонтно-обслуживающим предприятиям АПК можно отнести:

1. Принцип необходимого разнообразия и неокончательных решений.
2. Принцип дуального управления.

3. Принцип обратной связи.
4. Принцип адаптивности.
5. Принцип иерархичности.
6. Принцип гибкости.
7. Принцип гуманизации.
8. Принцип эффективности.

Реализация основных принципов и положений адаптационной деятельности к управлению предприятием должна осуществляться через систему моделей и методов принятия управленческих решений, имеющих единую информационную базу, связанных друг с другом определенными информационными связями, позволяющих обеспечить устойчивое функционирование предприятия и его адаптацию.

Адаптивную модель необходимо строить на основе целесообразного сочетания системного, процессного, проектного, сервисного, клиенто-ориентированного подходов, позволяющих гарантировать предприятию достижение требуемого адаптивного потенциала [3]. При этом, под адаптивным потенциалом ремонтно-обслуживающих предприятий АПК, мы предлагаем понимать предел их устойчивости к неблагоприятным факторам, степень мощности субъекта в отношении возможных направлений адаптации, свойства (ресурсов), которые существуют у адаптанта в скрытом виде и задействуются лишь в ходе адаптационной деятельности организации.

Для повышения эффективности использования адаптивного потенциала предприятия необходим механизм управления этим процессом. Адаптивный механизм является неотъемлемой составной частью системы управления предприятием, обеспечивающий целенаправленное воздействие на факторы, от состояния которых зависит результативность деятельности предприятия.

По нашему мнению, под адаптивным механизмом ремонтно-обслуживающих предприятий АПК следует понимать целостную систему взаимоувязанных между собой технических, технологических, экономических рычагов, организационно-распорядительных и социально-психологических методов в сочетании с системой мотивации и ответственности, непрерывно координирующих деятельность предприятия в нестабильной среде.

Для адекватной реакции на поведение потребителя необходимо проводить постоянный мониторинг рынка агросервисных услуг для определения его конъюнктуры. Соотнесение запросов потребителя с технологической возможностью предприятия позволяет строить прогнозы спроса и оперативно реагировать на изменение конъюнктуры рынка.

Экономические интересы собственника сельскохозяйственной техники ориентируют его на приобретение новых машин или выполнение работ по поддержанию работоспособности техники в своих мастерских и пунктах технического обслуживания. Поэтому на техническом сегменте рынка агросервисных услуг существует двойная конкуренция со стороны предприятий сельскохозяйственного машиностроения и возможностью выполнять работы собственными силами и средствами владельцев машин.

Концепция адаптивного управления в условиях кризисных явлений в экономике представляет совокупность новых взглядов на цели, задачи, инструменты, субъекты и организационные структуры управления. В этом смысле эту концепцию можно представить как определенный способ понимания и трактовки адаптивного управления в условиях кризисных явлений в экономике. Поэтому есть смысл говорить о концепции адаптивно-ситуационного управления как о развитии взглядов на философию управления компаний.

Весьма существенным обстоятельством мы считаем тот факт, что зачастую менеджеры адаптируемой (адаптирующей) организации ограничиваются эвристическим поиском решения, а не исполнением известного алгоритма.

Модель реализации концепции адаптивно-ситуационного управления должна включать в себя следующие блоки [3]:

1. Адаптация по целям (активная адаптация).
2. Адаптация по организационной структуре (пассивная структурная адаптация).
3. Адаптация по тактике (пассивная параметрическая адаптация).

Основными элементами или видами адаптационной деятельности в рамках этих блоков, применительно к ремонтно-обслуживающим предприятиям АПК, мы предлагаем считать:

1. Идентификацию приоритетных, наиболее конкурентоспособных бизнесов организации.
2. Определение перспективных рыночных ниш для уже освоенных продуктов и технологий, а также потенциально возможных к производству в обозримом будущем.
3. Прогноз долгосрочной конкурентной позиции организации по каждому направлению бизнеса (товару, работе, услуге). Определяя конкурентную позицию организации на рынке степенью ответственности (адаптивности) её производственного ассортимента ключевым факторам принятия решения покупателем о покупке.

Полученные результаты адаптационной деятельности оцениваются с помощью показателей и критериев, которые в зависимости от возникающих ситуаций могут меняться. Возникающие отклонения анализируются и учитываются при возможной корректировке целей и задач. На этом предыдущий цикл управления заканчивается и начинается новый. И так до тех пор, пока не будет обеспечена адаптация к возникшей ситуации. При изменении ситуации процесс адаптации должен быть продолжен.

В качестве адаптивных критериев измерения степени достижения поставленных целей могут быть использованы экономическая добавленная стоимость (EVA), рентабельность собственного капитала (ROE), рентабельность инвестированного капитала (ROI) и др.

Выполненное исследование существенно смещает акценты в представлениях о характере и результативности рыночной адаптации ремонтно-обслуживающих предприятий АПК. Так, с одной стороны установлено, что значительная часть факторов, сдерживающих конкурентоспособность отечественных ремонтно-обслуживающих предприятий, является характеристикой социально-экономической системы в целом; такие факторы не могут быть преодолены за счет ресурсов, которыми располагают отдельные предприятия. С другой стороны, видимое улучшение рыночных позиций определенной части ремонтно-обслуживающих предприятий АПК отнюдь не свидетельствует о реальном повышении их конкурентоспособности на рынке агросервисных услуг, так как осуществляется за счет адаптационных стратегий, не являющихся эффективными в долгосрочной перспективе.

Итак, определяя ремонтно-обслуживающие структуры АПК как потенциально адаптивные системы (самоприспосабливающиеся), то есть системы, способные изменять алгоритмы своего функционирования при изменении условий жизнедеятельности, мы считаем адекватным такой, циклически повторяющийся, алгоритм управления адаптационной деятельностью ремонтно-обслуживающих предприятий АПК:

- идентификация и оценка исходных параметров адаптивного потенциала организации на базе достигнутых показателей в предшествующем периоде;
- верификация (проверка на соответствие) фактических параметров величины адаптивного потенциала организации параметрам спроса на рынке агросервисных услуг;
- формирование новых производственных структур в организации с целью доведения имеющегося адаптивного потенциала до требуемой величины, обусловленной конъюнктурой рынка агросервисных услуг;
- оптимальное распределение ресурсов адаптивного потенциала по структурным подразделениям и этапам рационального жизненного цикла продукции (услуг);
- формирование адаптивных систем внутренней и внешней поддержки функционирования предприятия в реальном режиме.

Результаты управления степенью взаимовлияния системы технического сервиса АПК и внешней среды, их осмысление в преломлении к современной ситуации в АПК и в народном хозяйстве страны в целом, дают нам возможность сформулировать важный методологический принцип адаптивного развития системы ремонтно-обслуживающих предприятий АПК. Он заключается в том, что для скорейшего становления этой системы необходимо адаптировать её к условиям внешней среды – рынку агросервисных услуг АПК, причем таким образом, чтобы максимально облегчить ремонтно-обслуживающим предприятиям АПК достижение конечной и промежуточных целей управления их адаптационной деятельностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аубакирова Г.М. Адаптивное управление предприятием: монография / Г.М. Аубакирова. Караганда: Экожан, 2006.
2. Марченкова К.М. Концепция адаптивного планирования и бюджетирования в компании / К.М. Марченкова // Качество, инновации, образование. 2009. № 6.
3. Тюкин И.Ю. Адаптация в нелинейных динамических системах / И.Ю. Тюкин, В.А. Терехов // Синергетика: от прошлого к будущему. Санкт-Петербург: ЛКИ, 2008.
4. Шитов Д.В. Разработка комплексной оценки уровня адаптации предприятия / Д.В. Шитов // Вестник Самарского государственного экономического университета. Сер. Экономика. Вып. 3 (53). Самара: Изд-во СГЭУ, 2009.

Авдеева Юлия Анатольевна – аспирант кафедры «Антикризисное управление» Поволжского института управления им. П.А. Столыпина Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации

Yulia A. Avdeeva – Postgraduate Department of Crisis Management P.A. Stolypin Volga Region Institute of Management, Russian Academy of National Economy and Public Service at the President of the Russian Federation

Статья поступила в редакцию 12.08.12, принята к опубликованию 06.09.12

Л.А. Богунов

СУБЪЕКТНОЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЕ МЫШЛЕНИЕ КАК ФАКТОР УПРАВЛЕНИЯ МОТИВАЦИЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Проанализированы подходы к пониманию мотивации экономической деятельности и, в частности, трудовой деятельности через управление последними посредством субъектного экономического мышления субъекта (индивида). В качестве ключевого фактора рассмотрен феномен осознания субъектом своего участия в экономической деятельности, а соответственно, и осознания значимости своей деятельности, что и выступает тем мотиватором, который во многом определяет эффективность его экономической деятельности.

Экономическое мышление, субъектное экономическое мышление, мотивация, экономическая деятельность, субъект экономической деятельности

L.A. Bogunov

SUBJECT ECONOMIC THINKING AS A FACTOR OF MANAGEMENT OF THE MOTIVATION OF ECONOMIC ACTIVITY

Approaches to understanding the motivation of economic activities and, in particular, work through the management of the latest whereby the subject economic thinking of person are analyzes. The key factor is the phenomenon of understanding by the subject of his participation in economic activities and, respectively, and awareness of the importance of their activities acting as a motivator, which largely determines the efficiency of its economic activity.

Economic thinking, subject economic thinking, motivation, economic activity, subject of economic activity

Современный экономический человек должен быть готов оперировать большими объемами информации, анализировать возможные варианты развития событий, гибко подходить к принятию экономических решений, ориентируясь на взаимодействия с актуальной экономической ситуацией. И если будет необходимость, то пересмотреть и старые, и новые принципы, которые могут быть как мотиваторами, так и демотиваторами его экономической деятельности.

Важно находиться в постоянном движении, а это предполагает гибкую структуру экономического мышления, такое качество экономического мышления, которое обеспечит экономическую эффективность и конкурентоспособность экономического человека, высокую мотивацию его экономической деятельности в целом и трудовой деятельности, в частности. А без соответствующей организации экономического мышления не представляется возможным говорить о квалифицированном кадровом потенциале, о повышении конкурентоспособности национальной экономики.

Что следует понимать под гибкой структурой экономического мышления, его качеством, его соответствующей организацией? По нашему мнению, в таких контекстах будет уместно говорить с точки зрения субъектных составляющих экономического мышления. Но прежде определимся с самим понятием экономического мышления. На основании изучения литературы по экономическому мышлению [1, 2, 4, 5, 11, 15-18 и др.], мы можем заключить, что это процесс и результат отражения экономической действительности, знания, умения и навыки теоретического и практического оперирования категориальным экономическим аппаратом, реализуемые в решении прикладных экономических задач, где процесс формирования экономического мышления предполагает сочетание экономической теории и практики в деятельности индивида, группы.

При этом, как мы считаем, результат отражения экономической действительности показывает, почему один экономический человек оказывается экономически более эффективным и более конкурентоспособным, чем другой, в том числе и на рынке труда; а процесс отражения экономической действительности решает проблему образования и воспитания экономического человека с целью сделать его более эффективным с позиций формирования и развития его экономического мышления.

Последнее положение особенно важно учитывать в контексте реализации аспектов эффективной мотивации. Но как мы понимаем, в целом такого подхода еще не достаточно для определения механизмов эффективной мотивации экономической деятельности через экономического мышление.

Хотелось бы также уточнить, что о мышлении вообще говорят при решении проблемных ситуаций или, другими словами, мышление включается, когда субъект сталкивается с проблемой и требуется ее решение, поскольку действовать, как и прежде, по инерции не представляется возможным. А до этого момента мы можем говорить лишь о субъективном отражении объективного мира, т.е. о сознании, или экономическом сознании в случае с экономической реальностью.

Подтверждение тому факту (наличие проблемной ситуации) мы видим в исследованиях экономического мышления, которые активно проводились в период социально-экономических трансформаций 80-х и 90-х годов [1, 2, 4, 5, 8, 9, 11, 15], конференциях по вопросам перестройки экономического мышления и формирования нового экономического мышления. Исследователи касались как вопросов формирования экономического мышления в целом, так и конкретно становления современного экономического мышления руководителей [3, 12, 14] и работников разных отраслей производства [6]. Осуществлялся поиск, так как новых решений требовала сама ситуация.

Однако проблематика повышения мотивации экономической, трудовой деятельности, особенно в контексте возможностей экономического мышления, к сожалению, не привлекла к себе должного внимания. Экономическое мышление больше понималось как видение мира, т.е., проблемы и запросы того периода простимулировали поисковую научную активность глобально. Но именно сама проблемная ситуация, ее мотивирующая энергетика, ее содержательная предметность, по нашему мнению, заслуживают большего внимания.

А между тем то или иное экономическое мышление имеется у каждого. Но почему же не каждый может эффективно справляться с проблемными ситуациями, принимать эффективные экономические решения, не каждый способен себя мотивировать на экономическую эффективность и конкурентоспособность? Различие мы видим опять-таки в качестве экономического мышления, в его субъектных характеристиках.

Итак, сформулируем основные положения субъектного экономического мышления. Субъектное экономическое мышление, по нашему мнению, характеризуется пониманием экономического человека в качестве субъекта экономической деятельности, то есть организующего начала этой деятельности, рассматривая его в качестве субъекта, определяющего и управляющего экономическими процессами посредством своего экономического мышления, что предполагает его активную преобразующую роль;

– заключается в позиционировании и понимании экономическим человеком себя в качестве субъекта, которому самому нужно принимать экономические решения: в осознании своих экономически неэффективных стратегий, в способности изменять собственные неэффективные ментальные и поведенческие экономические стратегии, в умении продуцировать новую экономически эффективную деятельность, обуславливающую гибкость и адаптивность экономического мышления в любых социально-экономических ситуациях – то есть в себе находить защиту себя и своих близких, возлагать на себя ответственность за собственное существование, а не надеяться на случай или кого-то экономически более грамотного;

– проявляется в том, что субъект экономической деятельности, обнаруживая и изучая явления, процессы, которые детерминируют его экономическую жизнь, обретает ориентацию и оказывается вовлеченным в анализ вариантов, в осуществление выбора и, следовательно, приобретает определенное чувство экономической свободы.

Таким образом, понимание себя в качестве организующего начала экономической деятельности, а следовательно, и ее мотивации, возложение на себя ответственности за собственное существование, осознание социально-экономических детерминаций и приобретение возможности управления экономическими процессами и своей экономической деятельностью, должно стать определяющими составляющими мотивации экономической деятельности. Чтобы рассмотреть эти вопросы более подробно, определимся с некоторыми аспектами понимания категории мотивации.

Под мотивацией (И.П. Ильин, А. Маслоу, П. Мартин, Ш. Ричи и др.) в современной экономике и психологии понимают совокупность побуждений, вызывающих активность индивида и определяющих степень этой активности (т.е. мотивация как система факторов, детерминирующих поведение), а также процесс образования, формирования мотивов, внутреннего управления поведением человека, поддерживающий поведенческую активность на определенном уровне.

Мотивация обуславливает целенаправленный характер действия. При этом необходимо помнить, что первичная мотивация проявляется в форме инстинкта, влечения, потребности, а вторичная мотивация проявляется в форме мотива. Мотивацию, как правило, составляет не какой-либо один мотив, а определенным образом структурированная их совокупность, включающая и внешние, и внутренние составляющие.

Итак, рассматривая субъектное экономическое мышление как фактор управления мотивацией экономической деятельности, считаем необходимым, во-первых, обратиться к категории потребности, поскольку именно анализируя роль потребностей в качестве фактора первичной мотивации, мы сможем понять, как становление и функционирование субъектного экономического мышления может определять мотивационную сторону экономической деятельности индивида в целом и трудовой деятельности, в частности. И важным аспектом здесь является момент опредмечивания потребности или, по-другому, предмет разрешения проблемной ситуации.

Ведь то, как произойдет опредмечивание, такой потребность и будет, каким будет первый предмет удовлетворения потребности, на то и будет спрос у экономического человека, тем он и будет мотивирован в своей жизнедеятельности, тем и будет оперировать его экономическое мышление.

Таким образом, общей закономерностью развития мотивационной сферы является следующая зависимость – чем более социально зрелой становится личность, тем шире и осознаннее становится мотивационный веер. Социальная зрелость личности экономического человека обеспечивает способность гибко взаимодействовать с экономической действительностью, что будет определяться соответствующим качеством экономического мышления, его взаимодействия с мотивационной составляющей.

Рассматривая субъектное экономическое мышление как то, что создает выгоду, мы видим, что оперировать, совершая тот или иной мыслительный акт, человеку придется посредством тех категорий, тех образов, которые первоначально явились предметами удовлетворения его потребностей. Значит, мотивация извне или самомотивация будут сориентированы на эти категории, образы и именно через них возможно управление мотивацией экономической деятельности.

Во-вторых, при анализе возможностей субъектного экономического мышления в управлении мотивацией экономической деятельности считаем необходимым обратить внимание на категорию управление и специфику управления в данном контексте.

Надо помнить, что управление есть обеспечение функционирования целого как единства составляющих его частей. А если субъект не понимает своего места и роли в происходящих экономических преобразованиях или, если взять более частный случай, экономической полезности целесообразности своей деятельности в контексте общих процессов в рамках конкретного предприятия, то он будет действовать либо «из-под палки», либо ориентируясь на свою частную деятельность.

С точки зрения процесса управления, организация деятельности части общеэкономического целого должна учитывать влияние деятельности этой части на другие части целого. Это же должен понимать и субъект (индивид) экономической деятельности. По нашему мнению, такое объективное с точки зрения общего управления понимание должно обеспечивать субъектное экономическое мышление, в то время как ограниченное, не подготовленное, не сформированное индивидуальное экономическое мышление будет организовывать и интерпретировать соответствующую экономическую и, в частности, трудовую деятельность исходя только из своих интересов, то есть управляя собой – частью – как целым, понимая, интерпретируя свою деятельность именно так.

Третьим важным моментом в определении роли и места субъектного экономического мышления в управлении мотивацией экономической деятельности, по нашему мнению, является понимание субъектом своего участия в общем деле, а, соответственно, и значимость своей деятельности. Это становится тем мотиватором, во многом определяет эффективность его экономической, трудовой деятельности, который расширяет возможности его социально-экономической адаптации.

Тем механизмом, который позволит экономическому человеку стремиться к вершине самореализации собственной экономической эффективности, востребованной в общезначимых социально-экономических проектах, может быть субъектное экономическое мышление, выступающее важным фактором мотивации экономической деятельности. И деятельность каждого индивида будет тем эффективнее, чем более она осмыслена им самим, осознана как часть общего целого. В результате управление мотивацией индивидуальной экономической деятельностью будет осуществляться самим субъектом этой деятельности.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы.

В теории мотивации трудовой деятельности субъектное экономическое мышление выступает тем системообразующим фактором, который определяет, как работник и, шире, экономический человек понимает свои роль и место в деятельности предприятия и в целом национальной экономики, какие мотивы его экономической деятельности будут для него определяющими.

При этом, совершая тот или иной мыслительный акт, человеку придется посредством тех категорий, тех образов, которые первоначально явились предметами удовлетворения его потребностей. Значит, его мотивация будет сориентирована на эти категории, образы и именно через них будет осуществляться мотивация его экономической деятельности.

Субъектное экономическое мышление позволит осознавать субъекту деятельности себя в качестве и субъекта и объекта этой деятельности, т.е., с одной стороны, в качестве части общего целого, а с другой – самостоятельной самоорганизующейся единицей, активно взаимодействующей, целенаправленно включающейся в экономические процессы.

Таким образом, мы видим, что субъектное экономическое мышление выступает важным фактором мотивации трудовой деятельности: то, каким образом организовано индивидуальное и групповое экономическое мышление, его структура и содержание, которые формируются в процессе экономической деятельности и во взаимодействии с экономической действительностью, и будут определять мотивацию трудовой деятельности, а значит, и качество человеческого капитала страны.

С нашей точки зрения, современная экономико-политическая ситуация требует именно такого подхода к проблемам экономического мышления в вопросах управления мотивацией экономической деятельности и повышения социально-экономической конкурентоспособности экономического человека в целом, при этом, однако, учитывая специфику содержания феномена субъектного экономического мышления, а также возможности его формирования и развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абалкин Л.И. Новый тип экономического мышления / Л.И. Абалкин. М.: Экономика, 1987. 190 с.
2. Архипов А.Ю. Современное экономическое мышление: вопросы теории и практики развития: дис. ... д-ра экон. наук / А.Ю. Архипов. Ростов н/Д, 1999. 341 с.
3. Белозеров С.М. Перестройка мышления хозяйственного руководителя: содержание, пути, перспективы: учеб. пособие / С. М. Белозеров. М.: АНХ СССР, 1988. 85 с.
4. Бляхман Л.С. Перестройка экономического мышления / Л.С. Бляхман. М.: Политиздат, 1990. 270 с.
5. Борисов Е.Ф. Роль лекций в формировании экономического мышления / Е.Ф. Борисов, А.В. Аношкин. М.: Знание, 1986. 64 с.
6. Зырянов А.Ф. Формирование экономического мышления сельских тружеников / А.Ф. Зырянов. М.: Знание, 1990. 63 с.
7. Ильин И.П. Мотивация и мотивы / И.П. Ильин. СПб.: Питер, 2000. 512 с.
8. Колесов Н.Д. Экономическое мышление трудящихся и развитие народного хозяйства / Н.Д. Колесов. Л.: Ленингр. орг. о-ва «Знание» РСФСР, 1986. 31 с.
9. Лашова Н.А. Формирование экономического мышления в школах коммунистического труда / Н.А. Лашова. Л.: Ленингр. орг. о-ва «Знание» РСФСР, 1986. 16 с.
10. Маслоу А. Мотивация и личность / А. Маслоу. СПб.: Евразия, 2001. 479 с.
11. Мирошников В.И. Новое экономическое мышление: Вопросы методологии / В.И. Мирошников. Харьков: Выща школа. Изд-во при ХГУ, 1989. 183 с.
12. Научно-методические основы формирования экономического мышления хозяйственных руководителей в условиях интенсификации экономики: сб. науч. тр. / Акад. нар. хоз-ва при Совете Министров СССР; редкол.: А. Н. Люсов и др. М.: АНХ, 1986. 186 с.
13. Ричи Ш. Управление мотивацией. 12 факторов мотивации: учеб. пособие для вузов / Ш. Ричи, П. Мартин; пер. с англ. под ред. Е.А.Климова. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 399 с.
14. Скоробогатов И.Б. Хозяйственный руководитель и новое экономическое мышление / И.Б. Скоробогатов. М.: Знание, 1988. 62 с.
15. Улыбин К.А. Современное экономическое мышление: политико-экономические аспекты исследования и формирования: автореф. дис. ... д-ра экон. наук / К.А. Улыбин. М., 1989. 47 с.
16. Хейне П. Экономический образ мышления: пер. с англ. / П. Хейне, П. Боутке, Д. Причитко. 10-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 544 с.
17. Цимбалов И.П. Экономическое мышление и рыночное поведение: в 3 кн. / И.П. Цимбалов, Г.М. Шевашкевич. Саратов: СГТУ, 1996.
18. Экономическое мышление в XXI веке: монография / Х.У. Астамиров и др.; под ред. М.А. Пивоваровой. М.: Моск. гос. ун-т печати, 2005. 91 с.

Богунов Леонид Александрович – экономист, кандидат психологических наук доцент кафедры «Управление и бухгалтерский учет» Северо-Казахстанского государственного университета им. М. Козыбаева

Leonid A. Bogunov – Ph. D., Associate Professor Department of Management and Accounting, M. Kozybaev Northern Kazakhstan State University

Статья поступила в редакцию 05.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

В.Т. Денисов, Е.С. Авдеева

КОНЦЕПЦИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УЧЕТА ПО ЦЕНТРАМ ОТВЕТСТВЕННОСТИ НА МАКРОУРОВНЕ

Рассматривается концепция выделения центров ответственности на макроуровне и применение ее к формированию стратегических приоритетов развития на макро- и микроуровнях.

Центры ответственности, инновационная направленность, логистические потоки, бюджетирование, матрица результативности

V.T. Denisov, E.S. Avdeeva

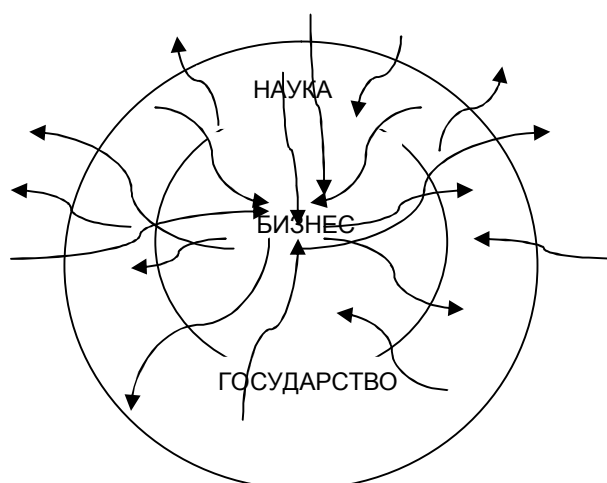
THE CONCEPT OF STRATEGIC ACCOUNT IN TERMS OF RESPONSIBILITY CENTERS ON THE MACROLEVEL

The concept of allocation of responsibility centers on the macro-level and its application in the formation of strategic priorities for advancement on the macro- and micro-levels is considered.

Responsibility centers, an innovative orientation, logistical streams, budgeting, a productivity matrix

В разные временные периоды основной развития предприятия и макросистем являлись разные элементы производственного потенциала: производство, трудовые ресурсы, научно-техническое развитие и др.

Исходя из авторской концепции распределения элементов организационного потенциала предприятия основным элементом является стратегия, которая включает, по нашему мнению, многие другие элементы потенциала предприятия. Именно на этом распределении мы предлагаем строить концепцию развития предприятия на микроуровне как совокупность усилий личного фактора (то есть каждого человека в отдельности), бизнеса и научно-технологического подхода к организации. На макроуровне к этому процессу должно подключаться государство, выполняя обеспечивающую функцию (рисунки).



Взаимосвязь элементов стратегического потенциала на макро- и микроуровнях

В настоящее время основой всей системы является государство, которое полностью определяет все потоки: информации, денежных средств, человеческие и др. При этом все процессы, происхо-

дящие в системе, строго структурированы и находятся под тотальным государственным контролем. Подобная структурированность и формализация всех процессов: бизнеса, науки и др. отвергают инновационную направленность стратегического развития, так как процессы творчества редко поддаются формализации и регламентации.

Исходя из концепции учета по центрам затрат, часто применяемой в экономике, организационная структура каждого отдельного государства может рассматриваться как совокупность линий ответственности и центров ответственности. В соответствии с этим и должна строиться система учета затрат, с помощью которой возможно оценить вклад каждого сегмента в результаты деятельности всего государства, который оценивается с помощью различных характеристик: показателей (ВВП, ВНП, экспортная и импортная квоты и др), а также систем учета операций (например, платежный баланс страны, который показывает позицию страны в мировом рейтинге).

Степень детализации затрат и механизмы их обобщения могут быть различными. Однако на уровне государства можно выделить три крупнейших сегмента – центра ответственности, во главе которых стоят лица, принимающие решения: государство, научные институты (образовательные учреждения) и бизнес-структуры. Каждый из этих субъектов (центров ответственности) является самостоятельным лицом и отвечает за исполнение определенного перечня показателей, определяемых центральным аппаратом управления при разработке сводного плана (бюджета страны). При этом любые отклонения при выполнении плановых показателей (отклонения в показателях в бюджете, платежном балансе и др.) не только фиксируются по месту возникновения, но и идентифицируются с конкретными лицами и организациями.

Согласно концепции учета затрат по центрам ответственности, каждому центру присваивается определенная функция, в соответствии с которой разрабатывается эффективная система стимулирования, а также существует возможность качественно и количественно сопоставлять вклад различных структур в изменение конечных финансовых результатов. Каждый центр ответственности выполняет работу с данными ему ресурсами.

Таким образом, центрам ответственности придаются одинаковые права. Однако в России существует парадокс: тот, кто зарабатывает деньги, то есть бизнес-структуры, не могут полностью распоряжаться ими, а государство, которому можно присвоить статус центра затрат, целиком и полностью распоряжается деньгами бизнеса, определяя, куда их направить и как лучше использовать, причем очень часто целевой характер использования денежных средств сомнителен. Таким образом, центры инвестиций (бизнес-структуры) оказываются в полной зависимости от центра затрат, который не только берет на себя инвестиционную функцию, но и становится главным действующим звеном системы, разрабатывая стимулирующие программы и закладывая в их основе комплекс показателей, в меньшей степени учитывающий заслуги бизнес-структур. В данном случае научное сообщество оказывается дополнительной ненужной надстройкой, которую государство в приказном порядке пытается наложить на бизнес и осуществлять стимулирующую, контролирующую и планирующую функции, тем самым облагая бизнес еще большими сборами. Именно поэтому во всех странах создание технологических платформ происходит снизу вверх, так как требуется инициатива реальных исполнителей, а государство выполняет организационную функцию, координируя действия всей цепочки, то есть, по сути, выполняя роль организационной подсистемы, распределяя логистические потоки внутри образования. Кроме этого, государство выполняет главную функцию центра затрат – тратит деньги, выделяя бюджетные средства на формирование предпроектной, неприбыльной части работ. При этом оно выступает именно как центр затрат, но не инвестиций, так как не обладает функцией самостоятельно определять вектор движения денежных средств, а лишь перераспределяя доходы бизнеса, полученные в виде налогов и отчислений на конкретные проекты.

Формирование учета по центрам ответственности на общегосударственном уровне позволит плавно и планомерно перейти к стратегическому управлению на макроуровне и создать соответствующую систему сбора, мотивации, учета и контроля, и, что более важно, создать систему культуры стратегического управления на макроуровне, которая вследствие эффекта системности передастся на мезо- и микроуровни.

Кроме этого, ввиду постоянного сбора и анализа оперативной информации увеличится доля решений, принимаемых оперативно и способных повлиять на ситуацию и настоящий момент, а не на будущее состояние предприятий. На этапе внедрения системы тотального сбора информации будет наблюдаться некоторый рост затрат, увеличение потоков документооборота и увеличение времени на подготовку, согласование и утверждение бюджета, что вызвано большим количеством участников бюджетного процесса.

Однако вследствие внедрения системы учета по центрам ответственности будет получена возможность:

- оценки результатов работы конкретного центра (степени достижения конкретных целей);
- сравнения эффективности деятельности различных центров в финансовых показателях (производить сравнение с подобными центрами в экономических системах других стран);
- улучшения системы мотивации и депремирования сотрудников отдельных центров через выполнение ими запланированных показателей;
- внедрения трансфертного ценообразования, что позволит отследить неадекватное увеличение себестоимости работ, услуг, а следовательно, снижение их конкурентоспособности на мировом рынке.

Однако затраты на внедрение подобной системы и разработка соответствующих индикаторов ее эффективности, а также эффективности каждого из ее центров, не поддаются количественной оценке и могут оказаться достаточно большими. Не следует ждать моментальных эффектов от ее внедрения; это, в первую очередь, система стратегического воздействия на экономику страны и ее конкурентоспособность. Для эффективной ее работы необходимо внедрение соответствующих нормативных актов, инструкций и приказов, регламентирующих финансовую структуру и соподчиненность.

Согласно общепринятой классификации центров ответственности, выделяют: центры затрат, центры доходов, центры прибыли и центры инвестиций.

К центрам затрат относятся практически все учреждения государственного аппарата, основные их функции: регулирующая, распределяющая и стимулирующая. При этом очень важно установить взаимосвязь между уровнем деловой активности и эффективностью работы центров: реализуется функция многовариантности бюджетирования, когда формируется несколько альтернатив уровней затрат в зависимости от эффективности центров, то есть отсутствует статичность бюджетирования, что позволяет точнее отслеживать доходные и расходные денежные потоки и формировать структуру трансфертных цен при внутренних перемещениях в системе. При работе центров затрат необходимо четко выстроить вертикаль управления, что позволит тщательнее выполнять функцию контроля и дает возможность руководителям всех центров ответственности отследить часть затрат не только своего подразделения, но и всей системы в целом, что повысит инновационность экономики и конкуренцию между подразделениями, а также сможет уничтожить коррупцию при распределении денежных средств. Более того, выстраивание управленческой вертикали позволяет более тщательно привязать затраты к отдельным субъектам экономики, ответственность за них получается адресная, что улучшает общую систему контроля. В качестве контрольных показателей центров затрат можно выделить установление плановых показателей по затратам. При организации центров ответственности формируется основа стратегической культуры управления системой, так как:

- формируется система ресурсосбережения: происходит постоянное сравнение плановых показателей с фактическими, что усиливает мотивационный эффект системы;
- происходит автоматизация бизнес-процессов: постепенно накапливается большой объем информации, который не поддается обработке вручную; именно он служит для постановки управленческого учета в отдельно взятых центрах.

К показателям премирования центров затрат можно также отнести выполнение целевого бюджетного плана и характеристики уровня трудовой и исполнительской дисциплины.

Центрами доходов и прибыли могут выступать научные подразделения как часть технологической платформы, подразделения бизнес-структур, то есть системы, которые в рамках выделенного бюджета отвечают за максимизацию дохода от продаж. В соответствии с принятой стратегией развития России на период до 2020 года научные институты рассматриваются как исследовательские структуры, оказывающие услуги бизнесу, ведущие научные разработки по заказу конкретных предприятий. В качестве критериев оптимальности работы таких центров могут выступать бюджеты продаж, которые включают не только суммы платежей, но и другие дополнительные параметры, способные оценить стратегическую направленность центра: продуктовый набор и его диверсификация, новизна предоставляемых изделий и услуг, востребованность, конкурентоспособность и рентабельность конкретных позиций. К показателям премирования можно отнести не превышение лимита контролируемых (прямых коммерческих и операционных) расходов; выполнение плана по продажам (в разрезе отдельных видов продукции).

Практически все бизнес-структуры можно отнести к разряду центров инвестиций, так как развитие предприятия и его стратегическая направленность подразумевают организацию расширенного воспроизводства, то есть инвестирования полученных средств. Поэтому в качестве основного критерия оптимальности должен выступать процент на вложенный капитал и учитываться альтернативные издержки предприятия, то есть его упущенные возможности.

В соответствии с этим делением на центры ответственности нами выделены следующие показатели, характеризующие деятельность различных центров ответственности в зависимости от их функциональной принадлежности, показателей оптимальности функционирования (таблица).

Сквозная матрица результативности стратегической направленности центров ответственности

Показатели	Бизнес	Наука	Государство
Охват образованием населения, %			+
в том числе:			
- общее образование			+
- начальное и среднее профессиональное образование			+
- высшее профессиональное образование			+
Доля выпускников учреждений профессионального образования, работающих по специальности не менее 3 лет, %	+		
Доля населения, участвующего в непрерывном образовании, в % от числа опрошенных			+
Среднемесячная заработная плата в образовании в % к средней заработной плате	+		+
Количество вузов, входящих в число ведущих мировых университетов		+	+
Валовая добавленная стоимость инноваций (в % к ВВП)	+	+	
Коэффициент изобретательской активности (число отечественных патентных заявок на изобретения, поданных в России, в расчете на 10000 населения)	+	+	
Интенсивность затрат на технологические инновации организаций промышленного производства (удельный вес затрат на технологические инновации в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг организаций промышленного производства)	+	+	
Число внутренних договоров о торговле лицензиями и отчуждении прав на патенты, единицы	+	+	
Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме экспорта товаров, работ, услуг организаций промышленного производства, %	+	+	
Совокупный уровень инновационной активности организаций промышленного производства (удельный вес организаций промышленного производства, осуществлявших технологические, организационные и/или маркетинговые инновации в общем их числе)	+	+	
Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг организаций промышленного производства	+	+	
Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг новых для рынка сбыта организации в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг организаций промышленного производства	+	+	
Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг новых для мирового рынка в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг предприятий промышленного производства	+	+	
Количество соучрежденных образовательными и научными бюджетными учреждениями малых инновационных предприятий	+	+	
Внутренние затраты на исследования и разработки (в % ВВП)		+	+
Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования:		+	+
- бюджетные средства;			
- внебюджетные средства			
Удельный вес России в общемировом числе публикаций в научных журналах, индексируемых в Scopus		+	+
Число цитирований в расчете на одну публикацию российских исследователей в научных журналах в WEB of Science		+	
Средний возраст исследователей		+	+
Удельный вес сектора высшего образования во внутренних затратах на исследования и разработки		+	+
Доля средств, получаемых за счет выполнения НИР и НИОКР, в структуре доходов ведущих российских университетов, %		+	+
Доля федеральных государственных услуг, которые население может получить в электронном виде, %			+
Доля городских округов и муниципальных районов, на территории которых созданы многофункциональные центры предоставления государственных и муниципальных услуг			+

Показатели	Бизнес	Наука	Государство
Доля лиц старше 50 лет, занимающих должности руководителей высшей и главной групп должностей государственной гражданской службы, %			+
Доля государственных служащих, свободно владеющих иностранным языком, %			+
Доля государственных служащих, получающих ежегодно дополнительное образование за рубежом, %			+
Доля лиц, занимающих должности руководителей высшей и главной групп должностей государственной гражданской службы, получивших высшее профессиональное образование за рубежом, %			+
Место Российской Федерации в международном рейтинге по индексу развития информационных технологий		+	+
Уровень соответствия международным стандартам нормативно-правовой базы в Российской Федерации в области инновационной деятельности, %		+	+
Удельный вес экспорта российских высокотехнологичных товаров в общем мировом объеме экспорта высокотехнологичных товаров, %	+	+	+
Количество субъектов РФ, получивших поддержку в рамках новых федеральных механизмов содействия субъектам РФ, активно инвестирующим в стимулирование инновационной деятельности, ед.	+	+	+
Количество инновационных кластеров, получивших федеральную поддержку после 2010 г. и сумевших удвоить высокотехнологичный экспорт с момента такой поддержки, ед.	+	+	+

Таким образом, иерархическая цепочка ценностей государства, нацеленного на стратегический прорыв и стратегию лидерства во многих отраслях, должна ориентироваться на формирование культуры стратегического менеджмента на макроуровне, которая включает вышеобозначенное распределение обязанностей.

Денисов Вячеслав Тихонович – доктор экономических наук, профессор кафедры «Мировая экономика и управление внешнеэкономической деятельностью» Саратовского государственного социально-экономического университета

Vyacheslav T. Denisov – Dr. Sc., Professor of the Department World Economy and Management of Foreign Trade Activities Saratov State Social and Economic University

Авдеева Екатерина Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Внешиэкономическая деятельность» Российского государственного торгово-экономического университета Саратовского института (филиала), докторант Саратовского государственного социально-экономического университета

Ekaterina S. Avdeev – Ph. D., Associated Professor of the Department Foreign Trade Activities Russian State Trade and Economic University of the Saratov Institute (branch), Ph. D. of the Saratov State Social and Economic University

Статья поступила в редакцию 05.04.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 624.05: 658.572.2

А.В. Ермачков

КОНТРОЛЛИНГ ЗАТРАТ ПРЕДЫНВЕСТИЦИОННОЙ ФАЗЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ СЛУЖБЫ ЗАКАЗЧИКА

Представлена система плановых расчётов затрат службы заказчика промышленных предприятий на стадии выбора проектных решений при подрядном способе ведения работ. Изложен авторский алгоритм прогнозирования затрат, в том числе не предвиденных проектно-сметной документацией для каждого этапа строительно-монтажных работ на основе методологии контроллинга, позволяющей в наибольшей степени учесть технологические особенности строительного производства, тем самым повышая качество предынвестиционного планирования.

Контроллинг, проект, решение, заказчик, подрядчик, проектировщик, прямые затраты, накладные затраты, альтернатива, этапы

A.V. Ermachkov

CONTROLLING PRE-INVESTMENT STAGE COSTS FOR DEVELOPERS OF CONSTRUCTION PROJECTS

The article presents a system of cost estimation techniques for developers of industrial enterprises at the stage of the project implementation. *The author's algorithm to predict costs including those unforeseen by construction documents is set out. This makes it possible to plan the costs for each phase of construction works on the basis of controlling methodology allowing to take into account the technological features of a construction, and thus enhancing the quality of pre-investment planning.*

Controlling, project, decision, building owner, contractor, designer, direct costs, indirect costs, alternative, stages

Расширение, реконструкция, техническое перевооружение промышленных предприятий требуют формирования у заказчика эффективной системы контроля строительных проектов со стороны не только отдела капитального строительства, но и высшего руководства компании, которому необходим минимум достоверной информации в доступном виде как для принятия управленческих решений, так и для повышения прозрачности расходования ресурсов, исключения оппортунистического поведения партнёров. Для этой цели предлагается использование дидактического потенциала контроллинга на всех стадиях реализации проекта, представляющего собой ориентированную на перспективу систему информационно-аналитической, методической и инструментальной поддержки руководства [1], архитектуру которой в данном случае необходимо сформировать ещё на начальной стадии планирования работ. Одним из вариантов такой системы расчётов, проводимых собственником на этапе составления плана инвестиций и окончательного выбора проектного решения, может послужить контроллинговая модель, приведённая в табл. 1.

На первом этапе, когда технико-экономическое обоснование проекта уже проведено, планово-экономические службы предприятия при помощи метода калькулирования целевой себестоимости определяют ту часть чистой прибыли или сумму заёмных средств, которые предприятие максимально готово в него вложить, далее устанавливаются финансовые ограничения для конкретных объектов строительства ($O_{\text{фин}}$) с учётом их приоритетности для предприятия. Кроме того, с позиции стратегической концепции калькулирования затрат полного жизненного цикла продукта [2] наибольшее количество затрат будущих периодов, которые можно сократить или оптимизировать, возможно, именно на стадии разработки проекта, поскольку с учётом особенностей строительного производства, связанных со строгой регламентацией процессов и нормированием затрат в проектно-сметной документации, на стадии его реализации существует ограниченное число направлений проявления технологической гибкости. Более того, отталкиваясь от стратегической концепции цепочки ценностей М. Портера [3], наибольшее значение для заказчика будет иметь прогнозирование внешних по отношению к нему затрат генподрядчика, которые необходимо минимизировать путём выбора оптимального проектного решения на 4-7 этапах рассматриваемой модели. В частности, когда уже окончательно выбран тип промышленного оборудования, который будет размещён на объекте, известна его общая стоимость ($C_{\text{об}}$), определены в базовом варианте примерные затраты на проектирование ($C_{\text{пр}}$), на технадзор и согласование проектных решений заказчика ($C_{\text{зак}}$), на отвод земельного участка под строительство ($C_{\text{уч}}$), рассчитывается максимально возможная стоимость строительной части проекта, приходящаяся на генподрядную организацию с учётом дополнительных затрат, прогнозируемых по объекту в целом ($C_{\text{под}}$):

$$C_{\text{под}} = O_{\text{фин}} - C_{\text{об}} - C_{\text{пр}} - C_{\text{зак}} - C_{\text{уч}} \quad (1)$$

Далее плановая стоимость строительных работ рассчитывается в последовательности, изображённой на рис. 1, логика которой соответствует не технологическому циклу их выполнения, а убыванию стоимости и причинно-следственной взаимосвязи работ. Для каждого из 8 этапов работ рассматриваются, как правило, 1...3 альтернативы, число которых показано справа при помощи прямоугольников.

Система плановых расчётов затрат заказчика прединвестиционной стадии строительных проектов на основе инструментов контроллинга

Этап расчёта	Инструменты контроллинга
1. Определение целевой себестоимости строительства	таргет–костинг, факторный анализ прибыли
2. Предварительное распределение инвестиций по фазам и объектам проекта	анализ жизненного цикла проекта, функционально-стоимостной анализ
3. Выявление регулируемых и контролируемых затрат внешней среды	анализ цепочки ценности
4. Оценка возможностей использования строительных технологий	дерево решений, теория вероятности, критерий Гурвица, стохастические методы, критерии многокритериальной оптимизации метод экспертных оценок, дисконтирование
5. Расчёты альтернатив применения основных ресурсов	
6. Прогнозирование расходов будущих периодов	
7. Окончательный выбор проектного решения	
8. Разработка системы контроля затрат генподрядчика	анализ ABC, факторный анализ отклонений, учёт затрат по функциям ABC

На первом этапе исходя из схемы расположения и технических характеристик оборудования осуществляется выбор нескольких альтернативных объёмно-планировочных решений, при этом расчёты затрат начинаются с каркаса здания со стеновым ограждением, занимающего наибольшую долю в структуре материальных затрат всего проекта (40...60%) и только потом для фундаментов и земляных работ, тем самым происходит селекция вариантов, не отвечающих финансовым ограничениям. В пределах каждого из первых четырёх этапов, когда определяются суммарные затраты по сооружению остова и его отделке, ещё не происходит отбор варианта технологии с наименьшими затратами. Этот выбор единственной альтернативы происходит на 5 этапе, поскольку стоимость выполнения вентиляционных и сантехнических работ практически не зависит от типа каркаса здания.

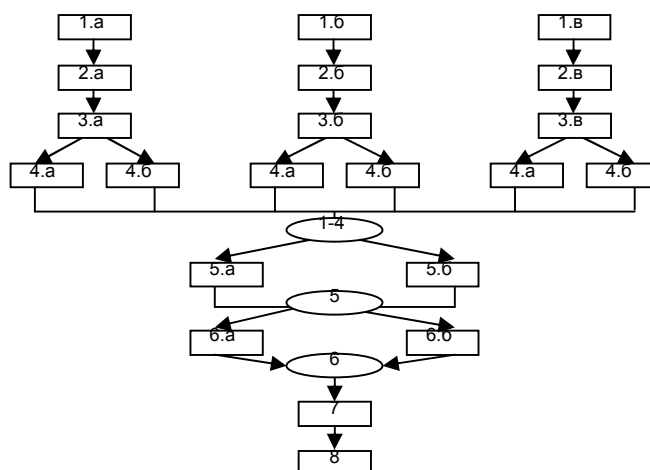


Рис 1. Этапы планирования строительных затрат проекта: 1 – сооружение остова; 2 – возведение фундаментов; 3 – земляные работы; 4 – отделочные работы; 5 – специальные работы; 6 – благоустройство территории; 7 – монтаж оборудования; 8 – обустройство строительной площадки

Далее после выбора наиболее оптимальных комбинаций в группе специальных и работ по благоустройству территории, на последних двух этапах рассчитываются затраты только в одном варианте. Это связано с тем, что работы по монтажу выбранного типа оборудования однозначно регламентируются его производителем, а расходы на подготовку территории строительства составляют незначительную величину и рассмотрение нескольких вариантов временных сооружений для промышленных объектов нецелесообразно, принимается в расчёт только один с минимальной стоимостью.

При планировании затрат на каждом этапе проекта ($Z_{\text{эт}}$) предлагается их учитывать в разрезе текущего ($Z_{\text{тек}}$) и будущих ($Z_{\text{буд}}$) периодов, сметных или базовых ($Z_{\text{баз}}$), а также дополнительных, сверхнормативных ($Z_{\text{доп}}$). Если владелец предприятия применяет стратегический подход к управлению затратами ($Z_{\text{стр}}$), то при выборе альтернативы на каждом этапе он возьмёт в расчёт затраты на проведение будущих постгарантийных ремонтов ($Z_{\text{буд}}$) за период от 3 лет вплоть до окончания экс-

плуатации здания, с применением различных количественных методов прогнозирования цен, при этом результаты выбора в отдельных случаях могут кардинальным образом отличаться от краткосрочного планирования. Значения базовых затрат строго регламентируются нормативными типовыми расчётами службы проектировщика, они являются нерегулируемыми и заранее детерминированными.

$$Z_{\text{стр } \varepsilon} = Z_{\text{тек } \varepsilon} + Z_{\text{буд } \varepsilon} \quad (2)$$

$$Z_{\text{тек об}} = \sum_{i=1}^n Z_{\text{баз } \varepsilon n} + \sum_{i=1}^n Z_{\text{доп } \varepsilon n}, \quad n - \text{число этапов расчёта, } i = 1 \dots n \quad Z_{\text{тек } \varepsilon} \leq C_{\text{под}}, \quad Z_{\text{тек}} \leq C_{\text{под}}, \quad (3)$$

где $Z_{\text{тек об}}$ – текущие затраты объекта.

Далее, детализируя данную формулу, часть прогнозируемых дополнительных затрат каждого этапа n ($Z_{\text{доп } \varepsilon n}$) следует отнести в целом на этап ($Z_{\text{доп } \varepsilon}$), другую часть рассчитать непосредственно на уровне проводимых в его рамках строительно-монтажных работ m ($Z_{\text{доп } p}$), причём долю последней группы по возможности необходимо стремиться максимизировать для повышения качества предынвестиционных расчётов. Согласно предлагаемому методу к прогнозируемым отклонениям затрат этапа относятся дополнительные затраты на проектирование и согласование проектных решений по вине заказчика и проектировщика ($Z_{\text{пр}}$); на усиление контроля заказчика ($Z_{\text{кон}}$), куда включаются дополнительные проверки технадзора, привлечение дополнительных экспертов и аутсорсинговых инжиниринговых компаний, а также сверхнормативную работу административных и плановых служб; на возможное увеличение постоянных расходов заказчика в связи с превышением нормативного срока по причине плохой организации труда всех участников строительного проекта, к которым относятся не только сверхплановые накладные затраты от сметного уровня, но и дополнительные затраты заказчика на аренду строительной техники, длительное хранение строительных материалов, в том числе их порчу и др. ($Z_{\text{сп}}$):

$$Z_{\text{доп } \varepsilon} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{кон}} + Z_{\text{сп}}. \quad (4)$$

В состав планируемых затрат на уровне работ входят затраты на непредвиденный сметой дополнительный объём СМР ($Z_{\text{СМР}}$), вызванные несовершенством строительного проектирования и особенностями выполнения инновационных видов работ, для которых ещё не разработаны сметные нормы, часть прямых (переменных) затрат, которые исходя из практики строительства не покрываются сметными нормами, а также сверхплановым объёмом СМР в связи с вероятным переносом сроков выполнения отдельных видов работ (например, дополнительный электропрогрев бетона в связи с откладыванием строительства на зимний период), при этом существенное изменение объёмов СМР по инициативе заказчика в данной группе отклонений исключается; на проведение постгарантийных ремонтов в течение 3 лет после сдачи объекта в эксплуатацию, в том числе расходы по возможному исправлению брака исполнителей работ за счёт службы заказчика, а также негарантийные случаи и риски, за которые генподрядная организация на практике ответственности не несёт ($Z_{\text{рем}}$). В данной модели учитываются также дополнительные затраты в связи с ожидаемой инфляцией или возможным превышением уровня инфляции на все виды ресурсов относительно прогнозируемого в договорной или сметной документации уровня ($Z_{\text{цен}}$):

$$Z_{\text{доп } p} = Z_{\text{СМР}} + Z_{\text{рем}} + Z_{\text{цен}} \quad (5)$$

Алгоритм расчёта по каждой группе дополнительных затрат следующий. Сначала отбирают те из них, для которых возможно планирование в разрезе прямых и накладных затрат стандартных статей калькуляции СМР с допустимым уровнем погрешности. Такой расчёт представляется целесообразным для расходов на проведение будущих ремонтов ($Z_{\text{рем}}$) с использованием метода математического ожидания [4], где экспертным путём определяется вероятность появления прогнозируемых сумм дополнительных затрат. В данном случае применение статистических моделей затруднено ввиду единичности возводимых объектов и отсутствия достаточного количества данных предыдущего опыта использования строительных технологий и материалов ОКСа заказчика. При этом рассматривается одна средневзвешенная величина размера затрат на текущие и плановые ремонты и нулевое её значение либо коридор возможных отклонений затрат, где берётся в расчёт пессимистический ($Z_{\text{макс}}$) и оптимистический ($Z_{\text{мин}}$) варианты.

$$E(Z_{\text{рем}}) = p_1 \cdot Z_{\text{макс}} + (1 - p_1) Z_{\text{мин}} \quad (6)$$

Далее для остальных категорий затрат вычисляется предполагаемый процент от сметного уровня базового фактора. Для групп $Z_{пр}$, $Z_{кон}$, $Z_{СМР}$ этой расчётной базой является соответствующий уровень сметных затрат, для $Z_{сп}$ это нормативные постоянные расходы, для $Z_{цен}$ это уровень цен, заложенный в проектно-сметной документации. Кроме того, для каждой категории дополнительных затрат устанавливается свой коридор отклонений в зависимости от особенностей конкретного этапа строительства и вида СМР, размах вариации которого в процентах от базы приведён во втором столбце табл. 2. Затем устанавливается взаимосвязь между спецификой возводимого объекта, технологией, конкретными условиями строительства и степенью их влияния на уровень дополнительных затрат на основе экспертных ситуационных оценок, после чего окончательно устанавливается искомый процент. Таким образом, формула расчёта значения каждой группы дополнительных затрат исходя из их сметного уровня определяется следующим образом:

$$Z_{доп\ i} = C_{м\ j} \cdot P_{доп\ i} = P_{мин\ i} \cdot C_{м\ j} + (P_{макс\ i} - P_{мин\ i}) \cdot \sum_{i=1}^s O_{ц\ ф} \cdot U_{д\ ф}, \quad (7)$$

где $C_{м\ j}$ – сметная стоимость вида или этапа работ j ; $P_{мин\ i}$ и $P_{макс\ i}$ – минимальный и максимальный установленный процент от сметного уровня для группы затрат i ; $P_{доп\ i}$ – итоговый установленный процент для дополнительной группы затрат i ; $O_{ц\ ф}$ и $U_{д\ ф}$ – соответственно экспертная оценка от 1 до 10 баллов и удельный вес в % для специальных параметров строительной технологии, s – число параметров

Аналогичным образом измеряется влияние стоимостного фактора на изменение затрат ($Z_{цен}$), которое вычисляется исходя из возможного повышения уровня цен на ресурсы и рассчитывается на основе оценок ценовых колебаний на строительные материалы, соотношения спроса и предложения и других рыночных факторов, а также корректируется на показатель вероятности, вызванный в том числе, из-за рисков нарушения сроков окончания сдачи объекта в эксплуатацию.

Факторами влияния на итоговую экспертную оценку в обеих вышеизложенных методиках, раскрытых в формулах (6) и (7), являются: сложность, инновационность строительной технологии, оценка работы подрядных организаций и проектных институтов, качество строительных материалов. Каждому фактору эксперт присваивает оценку ($O_{ц\ ф}$) от 1 до 10 баллов, причём удельный вес каждой оценки ($U_{д\ ф}$) разнится в зависимости от группы дополнительных затрат (табл. 2).

Таблица 2

Удельный вес факторов, составляющих итоговую экспертную оценку, %

Группы затрат	Коридор отклонений, %	Факторы			
		Технология	Подрядчик	Материалы	Проектирование
$Z_{пр}$	0...25	30	0	0	70
$Z_{СМР}$	0...30	20	40	0	40
$Z_{кон}$	0...20	30	40	20	10
$Z_{рем}$	0...100	10	40	40	10
$Z_{сп}$	0...50	30	50	20	0

При этом формула расчёта вероятности наступления события для групп затрат для которых возможно прогнозирование в разрезе стандартных статей СМР, примет вид

$$p_1 = 1 - \sum_{i=1}^q \frac{O_{ц\ ф}}{10} \times \frac{U_{д\ ф}}{100}, \quad (8)$$

где q – количество параметров оценки.

Окончательный выбор строительных материалов и технологий в пределах каждого вида работ 1-6 этапов осуществляется по критерию минимальных затрат, однако при переходе к 5 этапу этот выбор осуществляется только после независимых расчётов стоимостной цепочки взаимосвязанных работ в рамках 1-4 этапов для нескольких альтернатив. В случае значительных отклонений во времени окончания работ рассматриваемых вариантов, которые могут существенно повлиять на сроки сдачи объекта в эксплуатацию, производится сравнение разности их затрат ($\Delta Z_{альт}$) с дополнительной прибылью от операционной деятельности, которую предприятие может получить от более раннего окончания строительства ($\Delta Pr_{сп}$), и размера предполагаемой экономии или перерасхода денежных

средств на ресурсы относительно сметных и дополнительных затрат более дешёвой альтернативы взаимосвязанных видов работ дальнейших этапов 5-8 расчётной цепочки (Θ_p), а также экономии постоянных затрат на строительство других взаимосвязанных объектов рассматриваемого строительного проекта (Θ_{cp}), методика расчёта которой в части сверхплановых накладных сметных затрат изложена, например, в [5] или в [6]. В итоге оцениваются также дополнительная чистая прибыль или убыток ($\Delta\text{Пр}_{\text{альт}}$) от реализации более дорогой альтернативы с наименее короткими сроками, после определения которой окончательно принимается решение о реализации только одной из них.

$$\Delta\text{Пр}_{\text{альт}} = \Delta\text{Пр}_{\text{cp}} + \Theta_{\text{cp}} + \Theta_p - \Delta Z_{\text{альт}} \quad \Delta\text{Пр}_{\text{альт}} > 0 \quad (9)$$

Рассмотрим отдельные аспекты результатов применения предлагаемой методики при предварительном расчёте затрат на строительство цеха откорма бройлеров размерами 82×21×4,5 м на 75 тысяч птицемест ОАО «Нерюнгринская птицефабрика» (ОАО «НПФ») Республики Саха (Якутии). Лимит финансовых средств, приходящийся на генподрядную организацию с учётом прогнозируемых дополнительных затрат по строительству в целом и эксплуатации объекта в течение 3 лет составляет 65 млн. рублей. Рассмотрим затраты трёх альтернатив сооружения каркаса здания цеха – из металла (№1), сборного железобетона (№2) и монолитного железобетона (№3), которые складываются из уже известной сметной стоимости а также дополнительных затрат, значения которых для первого этапа представлены в табл. 3. За предполагаемую фактическую длительность строительства цеха в пределах 1,5 года с учётом превышения нормативного срока на 6-12 месяцев в зависимости от варианта технологии, для всех используемых строительных материалов здесь заложен достаточно высокий процентный уровень повышения цен в пределах 10...18%, в особенности для изделий из металла. Кроме того, с учётом технологических особенностей первого этапа в данном случае исключены затраты на ремонт каркаса здания цеха ($Z_{\text{рем}}$). В связи с тем, что для монолитного остова экспертами были отмечены высокая степень индивидуальности проектных решений, большая продолжительность строительства в условиях Крайнего Севера, значительный удельный вес строительных конструкций, выполненных в построечных условиях, в результате уровни затрат $Z_{\text{пр}}$, $Z_{\text{СМР}}$, Z_{cp} и $Z_{\text{кон}}$ оказались относительно высокими.

Таблица 3
Прогноз дополнительных затрат трёх альтернатив первого этапа строительства, тыс. руб.

Вариант	Группы дополнительных затрат					
	$Z_{\text{пр}}$	$Z_{\text{кон}}$	$Z_{\text{СМР}}$	Z_{cp}	$Z_{\text{цен}}$	$Z_{\text{доп э}}$
1	126	241	393	954	3959	5673
2	108	297	662	1123	4375	6565
3	236	473	1545	1852	3704	7810

Для осуществления окончательного выбора одного из трёх вариантов строительства каркаса цеха составляются сводные табл. 4 и 5, где отражаются результаты поэтапных расчётов будущих затрат. Наименьшая сметная стоимость в 37897 тыс. рублей у здания из монолитного бетона, однако с учётом дополнительных затрат оптимальной альтернативой является металлический каркас с сэндвич-панелями, суммарные затраты которого в конечном итоге на 2247 тыс. рублей меньше.

Таблица 4
Поэтапный прогноз затрат альтернатив возведения здания бройлерного цеха, тыс. руб.

Группы затрат	Вариант 1			Вариант 2			Вариант 3		
	$Z_{\text{баз э п}}$	$Z_{\text{доп э п}}$	Σ	$Z_{\text{баз э п}}$	$Z_{\text{доп э п}}$	Σ	$Z_{\text{баз э п}}$	$Z_{\text{доп э п}}$	Σ
1 этап	24361	5673	30020	29288	6565	35853	22549	7810	30359
2 этап	7559	1876	9435	9447	1753	11200	8106	2156	10262
3 этап	3985	589	4574	5721	736	6457	4258	548	4806
4 этап	2216	227	2443	2643	284	2927	2984	322	3306
$Z_{\text{тек э 1-4}}$	38121	8365	46486	47099	9338	56437	37897	10836	48733

Здесь принимаются во внимание также затраты остальных четырёх этапов, для того чтобы не превысить финансовый лимит денежных средств. Далее после того, как учитываются расходы на ремонт и риски затрат на качество в течение 4, 5 и 6 года эксплуатации, рассчитываемые аналогично краткосрочным затратам $Z_{\text{рем}}$, в табл. 5 согласно формуле [9] проводится анализ выгод от реализации

более дорогого и менее продолжительного строительства каркаса из сборного железобетона серийного варианта с отработанной технологией. В данном случае даже с учётом упущенной валовой прибыли от реализации трёх партий бройлеров за дополнительных 4 месяца их выращивания в размере 1,29 млн. рублей в результате всё равно получается относительный убыток в размере около 7,27 млн. рублей в долгосрочном плане и 7,06 млн. рублей в краткосрочном плане, следовательно, окончательное решение принимается в пользу первого варианта.

Таблица 5

Итоговый расчёт окончательного выбора альтернативы здания бройлерного цеха, тыс. руб.

Вариант	З _{тек з 1-4}	З _{тек з 5-8}	З _{тек з 1-8}	З _{буд 1-4}	З _{стр 1-4}	ΔЗ _{альт}	Э _{ср}	Э _р	ΔПр _{альт}
1	46486	9296	55782	507	46993	-10158			
2	56437	7957	64394	645	57082		+258	+1339	-7271
3	48733	7866	56599	873	49606				

Таким образом, прогнозирование дополнительных затрат службы заказчика при окончательном выборе проектного решения позволит их минимизировать в будущем, а также совершенствовать систему контроля по каждому объекту на стадии строительства с высокой степенью детализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Контроллинг: учеб. / А.М. Карминский, С.Г. Фалько, А.А. Жевага, Н.Ю. Иванова. М.: Финансы и статистика, 2006. 336 с.
2. Вахрушина М.А. Стратегический управленческий учёт: Полный курс МВА / М.А. Вахрушина, М.И. Сидорова, Л.И. Борисова. М.: Рид Групп, 2011. 192 с.
3. Портер М. Конкуренция: пер. с англ. / М. Портер. М.: Изд. дом «Вильямс», 2005. 608 с.
4. Шикин Е.В. Математические методы и модели в управлении: учеб. пособие / Е.В. Шикин, А.Г. Чхартишвили. 2-е изд., испр. М.: Дело, 2002. 440 с.
5. Бузырёв В.В. Экономика строительства: учеб. пособие / В.В. Бузырёв. 2-е изд., стер. М.: Изд. центр «Академия», 2007. 336 с.
6. Чая В.Т. Управленческий анализ: учеб. пособие / В.Т. Чая, Н.И. Чупахина. М.: Рид Групп, 2011. 448 с.

Ермачков Анатолий Владимирович – аспирант Дальневосточного государственного аграрного университета, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри

Anatoliy V. Ermachkov – Postgraduate Far East State Agrarian University Republic of Sakha (Yakutia), Neryungry

Статья поступила в редакцию 10.03.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 332.05, 330.01

Д.А. Колотырин

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ ИННОВАЦИИ КАК РЕЗУЛЬТАТ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

Институциональные инновации являются важным сопутствующим элементом формирования инновационной экономики и экосистемы, результатом институциональных изменений. Необходимо выявить механизм институциональных изменений, источник появления институциональных инноваций.

Институциональные инновации, инновационные изменения

D.A. Kolotyryn

INSTITUTIONAL INNOVATIONS AS A RESULT OF INSTITUTIONAL CHANGES

Institutional innovations are an important accompanying element for formation of the innovative economy and ecosystem growing out of institutional changes. It is necessary to reveal the mechanism of institutional changes, and a source of emerging institutional innovations.

Institutional innovations, innovative economy

Совокупность институтов и институциональной структуры в их взаимосвязи и взаимодействии представляет собой институциональную систему. Инновационные изменения институциональной структуры, представляющие теоретический интерес для авторов, не могут быть проанализированы без обязательного рассмотрения категории институциональных изменений.

Институциональные изменения означают изменения институциональной структуры как набора взаимосвязанных формальных правил и неформальных ограничений, определяющих систему стимулов для экономических агентов. Институциональные изменения являются средством разрешения противоречия между постоянно меняющимися условиями и факторами хозяйственной деятельности, конъюнктурой рынка и сложившимися устойчивыми нормами экономического поведения субъектов, обусловленного накопленным опытом предшествующего развития.

Институциональные изменения могут осуществляться в разных формах, одной из которых являются институциональные инновации (рис. 1).

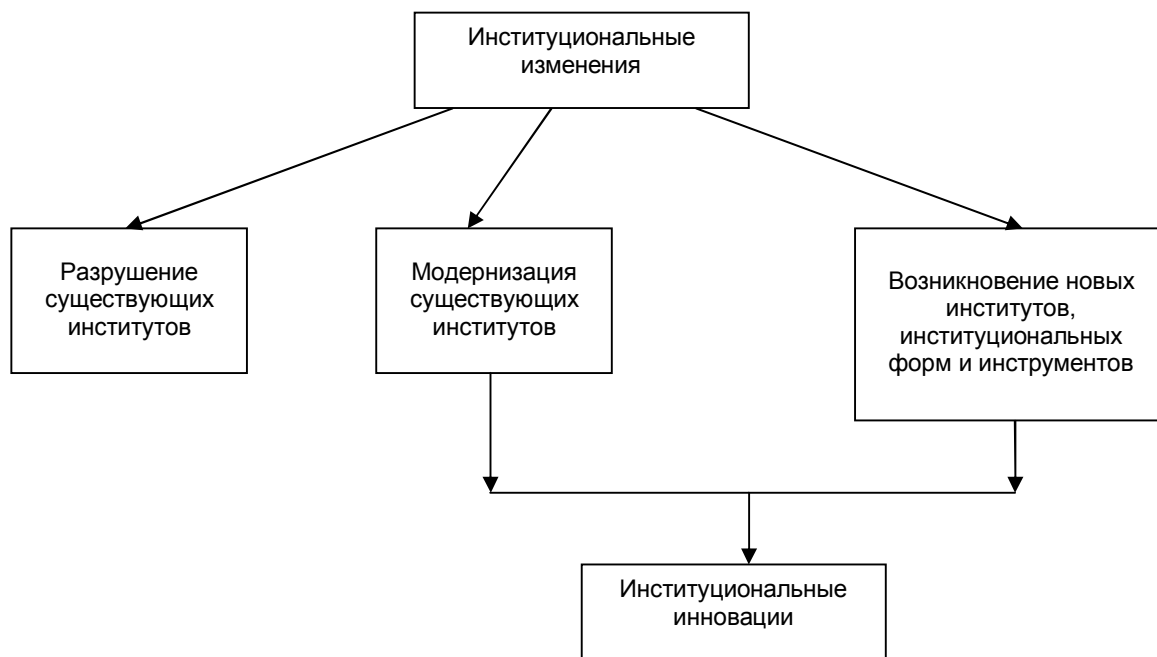


Рис. 1. Формы институциональных изменений

Следует отметить, что в современной экономической литературе нет единой общепризнанной теории институциональных изменений. Отсутствие таковой теории обусловлено, прежде всего, тем, что в предмет исследования экономики мейнстрима (неоклассической школы) не включаются факторы, детерминирующие динамические, качественные изменения в экономике. Во-вторых, теории, которые описывали институциональные изменения с позиций классового подхода в рамках марксистской политической экономии, не выдержали испытания практикой. В-третьих, большинство теорий институциональных изменений, возникающих в недрах институционализма, характеризуются эклектичностью и несовместимостью друг с другом.

С хронологической точки зрения первое исследование институциональных изменений проведено Т. Вебленом. Ученый видит причину институциональных изменений в склонности человека к творческой деятельности и экспериментированию, не приводя при этом в своих работах четкого определения институциональных изменений. «Праздное любопытство» ломает старые стереотипы мышления и поведения и создает новые, соответственно появляются новые институты. Наверное, наиболее ярко это проявляется в случае с неформальными институтами, привычками, образом мыслей и поведения. На примере институциональных изменений на уровне домохозяйств можно отметить, что именно праздное любопытство и врожденная склонность человека экспериментировать приводят к тому, что в конкретной семье может кардинально измениться способ проведения досуга или отпуска, или вообще вся жизнь, в связи, например, с переездом в другую страну. Итак, с точки зрения Т. Веблена, институциональные изменения – это изменения норм, правил, закономерностей поведения субъектов в результате реализации склонности человека к творческой деятельности и экспериментированию.

Согласно теории Й. Шумпетера, главный фактор институциональных изменений – инновационная деятельность предпринимателей и других активных членов общества. В какой-то мере эта кон-

цепция согласуется с теорией Т. Веблена, только более четко обозначен основной субъект изменений – предприниматель. Таким образом, в теории институциональных изменений делается акцент на том, что субъектом процесса институциональных изменений является предприниматель.

По мнению Д. Норта, «институты меняются, и самым важным источником этих изменений являются фундаментальные изменения в соотношении цен... и единственным другим источником институциональных изменений выступают изменения вкусов»¹. В данном случае подчеркивается, что источники институциональных изменений вытекают из изменений во внешней среде, а также обусловлены накоплением опыта и знаний. Институциональные изменения, таким образом, признаются результатом объединения в ментальных конструкциях субъектов внутренних и внешних факторов.

Итак, институциональные инновации – одна из разновидностей институциональных изменений, новшества, которые осуществляются в формальных и неформальных правилах и при их взаимодействии. Такое или близкие к этому определения понятия институциональных инноваций встречаются в литературе. Нами сделана попытка более четкого обозначения институциональных инноваций в отличие от более общего понятия институциональных изменений, для чего предлагается следующая трактовка понятия: институциональные инновации – изменения институциональной структуры, придающие принципиально новое качество ее элементам, либо знаменующие появление нового элемента институциональной структуры (субъекта, объекта, механизма институциональной среды), разрешающие существующие противоречия между элементами институциональной структуры и/или внешней средой.

Институциональные инновации могут возникать на базе прежних, давно существующих норм и установок и без всякой связи с прежними институтами, в институциональном вакууме, когда вообще отсутствуют какие-либо установки и нормы, например, в интерактивных отношениях.

Колотырин Денис Александрович –
соискатель кафедры «Общая экономическая
теория» Саратовского социально-
экономического института Российского
экономического университета им. Г.В. Плеханова

Denis A. Kolotirin –
Postgraduate
Department of General Economic Theory
Saratov Socio-Economic Institute
Part of G. Plekhanov Russian Economics University

Статья поступила в редакцию 12.04.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 338.33

И.Е. Крысина, Н.Н. Елистратова

ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ КАК БАЗОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ СИЛЫ

Статья посвящена проблемам народонаселения Российской Федерации, которые связаны напрямую с формированием рабочей силы. Авторы уделяют внимание серьезным негативным причинам, снижающим здоровье населения, и формулируют ряд мероприятий, которые могут при условии их реализации изменить состояние вещей со здоровьем населения в Российской Федерации.

Формирование рабочей силы, рождаемость, смертность, естественный прирост населения, заболеваемость населения, государственные программы

I.E. Krygina, N.N. Elistratova

HEALTH OF THE POPULATION AS THE BASIC CHARACTERISTIC OF LABOUR FORMATION

The article deals with the issues of human population in the Russian Federation which are inter-related with labour formation. The authors focus on the negative causes undermining the people's health, and propose a set of measures which might change (provided they are implemented) the state of health of the population in the Russian Federation.

Labour formation, birth rate, death rate, natural population growth, disease rate, state programs

¹ Норт Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики. М.: Фонд экономической книги «Начала», 1997. С. 109

Здоровье населения является одной из главных ценностей общества, показателем его социального благополучия, важной составляющей устойчивого развития страны. Согласно уставу Всемирной организации здравоохранения, здоровье – состояние, характеризующееся не только отсутствием болезней или физических дефектов, но и полным физическим, духовным и социальным благополучием. Оно способствует активизации всех видов жизнедеятельности человека: трудовой, хозяйственной, бытовой, медико-социальной и др. Здоровые люди стремятся получить образование, продуктивнее работают и пытаются приумножить собственное благосостояние.

Среди критериев общественного здоровья наиболее информативными и достоверными являются медико-демографические показатели: рождаемость, смертность, естественный прирост населения, ожидаемая продолжительность жизни, а также заболеваемость населения. По их величине и динамике обычно делают выводы о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения и потенциальных возможностях дальнейшего развития общества.

Состояние здоровья населения оказывает влияние на все стадии воспроизводства рабочей силы, создавая определенный фон происходящим изменениям. При этом самым мощным фактором, задающим тренд формирования и количественных и качественных характеристик рабочей силы, являются условия естественного воспроизводства населения, благодаря которым закладываются основы, прежде всего, физической составляющей трудового потенциала.¹

Воспроизводство рабочей силы представляет собой непрерывное восстановление и поддержание физических и умственных способностей человека, постоянное возобновление и повышение его профессионально-квалификационного и образовательного уровня. Как любой производственный процесс, оно проходит четыре стадии: формирование, распределение, обмен и потребление (использование). Все стадии по-своему важны и значимы для обеспечения экономического роста.

Процесс формирования рабочей силы происходит путем:

- естественного воспроизводства населения;
- приобретения способности к труду посредством системы общего, специального и высшего образования, профессиональной подготовки;
- восстановления и развития способностей к труду в процессе трудовой деятельности.

Распределение и обмен рабочей силы осуществляются в соответствии со спросом и предложением на рынке труда при участии работодателей, наемных работников и государства, а также непосредственно на предприятии (наем, ротация работников, увольнение и т.п.).

Потребление рабочей силы осуществляется непосредственно на рабочем месте в процессе труда и зависит от общего количества проживающих в стране.²

Количество населения в России и в мире меняется от этапа к этапу. С начала 90-х годов в России наблюдается демографический кризис, население страны сокращается в среднем на 0,5 млн. чел в год, что непосредственно сказывается на количестве трудовых ресурсов, являющихся носителями рабочей силы.

В 1991-1992 гг. смертность в нашей стране сравнилась с рождаемостью, а вскоре и значительно превысила ее (рис. 1.).

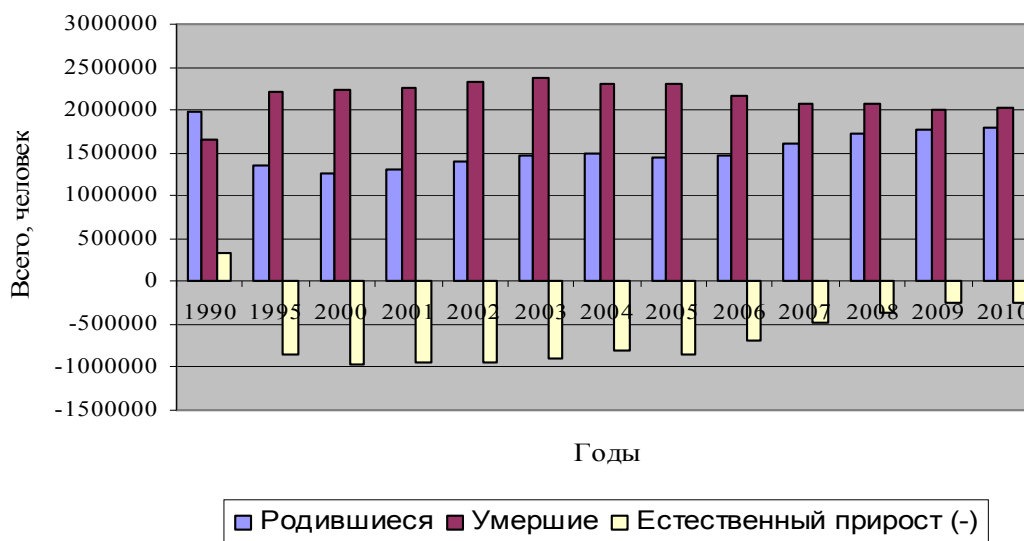


Рис. 1. Рождаемость, смертность и естественный прирост населения (тыс. чел.)¹

¹Козлов Ю.Н. Формирование и использование рабочей силы на фоне ухудшения здоровья населения // Уровень жизни населения регионов России. 2011. №1. С. 93.

²Одегов Ю.Г., Руденко Г.Г., Бабынина Л.С. Экономика труда. Т. 1. С. 297

Отметим, что в настоящее время суммарный коэффициент рождаемости в России устойчиво составляет 1,4-1,54², однако для простого воспроизводства населения необходимо значение 2,11-2,15. По европейским меркам уровень рождаемости в России нельзя назвать беспрецедентно низким, столь низкая рождаемость наблюдается во многих развитых странах Запада. Например, на 2009 год суммарный коэффициент рождаемости составил: Нидерланды – 1,79, Дания – 1,84, Финляндия – 1,86, Швеция – 1,94, Франция – 1,98, Норвегия – 2,0. Несмотря на то, что показатель не достиг уровня 2,11 – 2,15, в этих странах в последние десятилетия наблюдается естественный прирост населения, а не убыль, как в России.

Укрепление статуса семьи, ряд мер по стимулированию рождаемости, поддержка многодетных семей, улучшение материального положения женщин в период беременности и после рождения ребенка приводят к постепенному улучшению сложившейся демографической ситуации. Однако изменения носят долговременный характер, т.е. реальные результаты появятся через 20-25 лет.

Что касается уровня смертности в России, то он действительно аномально высок. Коэффициент смертности в России с 11,2 промилле в 1990 году увеличился до 16,4 в 2003 году, а в 2010 составил 14,2 промилле. (рис. 2). Подобные показатели смертности (более 15) встречаются только в пораженных ВИЧ странах Тропической Африки. В развитых странах значения коэффициента изменяются в пределах 8,1 – 8,8 в Нидерландах, 8,4 – 9,1 во Франции, 9,1 – 9,5 в Финляндии, 9,7 – 10,5 в Швеции, 9,9 – 10,9 в Дании. Таким образом, уровень смертности в России в 1,6 – 1,9 раза выше по сравнению с развитыми странами, что отрицательно сказывается не только на формировании рабочей силы, но и на демографической ситуации в стране в целом.

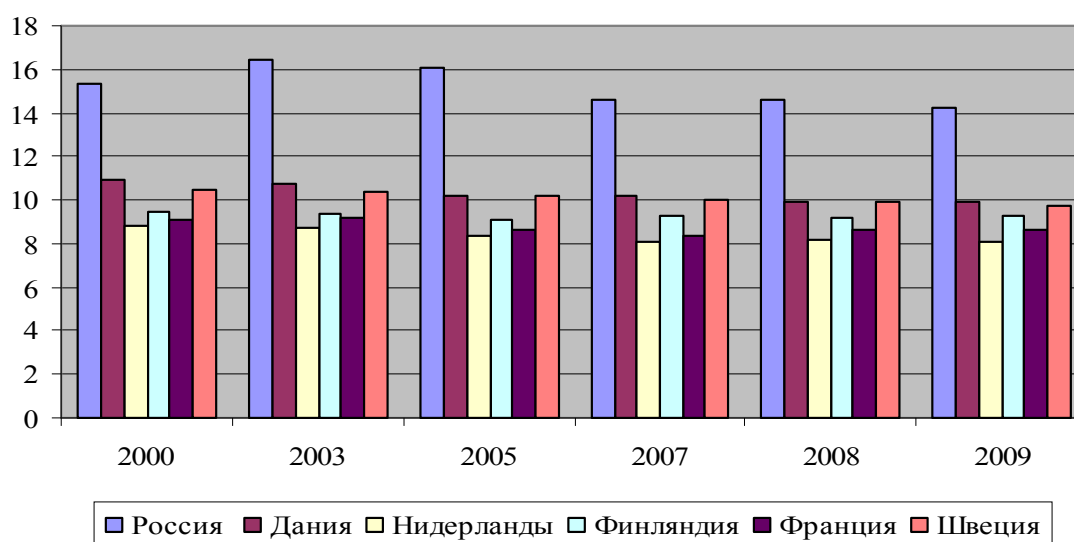


Рис. 2. Коэффициент смертности (на 1000 чел. населения)³

Что касается младенческой смертности, то ситуация также оставляет желать лучшего. Несмотря на достаточно устойчивое снижение показателя (со значения 15,3 в 2000 г. до 8,1 в 2009) он остается 2 – 3 раза выше, чем в развитых странах Запада (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициент младенческой смертности
(число умерших в возрасте до одного года на 1000 родившихся живыми)

Страна	2000	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Россия	15,3	12,4	11,6	11,0	10,2	9,4	8,5	8,1
Дания	5,3	4,4	4,4	4,4	3,8	4,0	4,0	3,1
Нидерланды	5,1	4,8	4,4	4,9	4,4	4,1	3,8	3,8
Финляндия	3,8	3,1	3,3	3,0	2,8	2,7	2,6	2,6
Франция	4,4	4,0	3,9	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7
Швеция	3,4	3,1	3,1	2,4	2,8	2,5	2,5	2,5

Младенческая смертность в большинстве случаев связана с многочисленными и тяжело протекающими инфекциями, отсутствием внимания к беременной женщине, ее неправильным образом

¹ Россия в цифрах. Федеральная служба государственной статистики. <http://www.gks.ru/>

² Там же.

³ Россия в цифрах. Федеральная служба государственной статистики. <http://www.gks.ru/>

жизни и питанием, дефектами режима, неправильным уходом и питанием младенца. Причины, приводящие к этому, следующие:

- низкий уровень здоровья родителей;
- злоупотребление спиртными напитками;
- табакокурение;
- распространение инфекционных заболеваний (туберкулез, гепатит, ВИЧ-инфекция, заболевания, передающиеся половым путем и т.д.);
- неблагоприятная экологическая ситуация в стране, которая обуславливает развитие и прогрессирование многих заболеваний, сдвиг в состоянии иммунитета;
- неблагоприятные жилищные и материально-бытовые условия значительной части населения, тенденции к социальному расслоению общества.

Одним из критериев оценки здоровья населения является также его заболеваемость.

Доля новорожденных, имеющих при рождении те или иные заболевания, увеличилась за последние 30 лет почти в 5 раз и составляет в настоящее время более одной трети от общего числа детей, родившихся живыми (табл. 2).

Таблица 2

Состояние здоровья новорожденных в Российской Федерации¹

	1980	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Родилось детей больными или заболели (массой тела 1000 г. и более)										
всего, тыс. человек	169,0	288,6	383,3	474,1	575,9	580,0	614,3	628,0	625,8	624,0
в процентах от числа детей, родившихся живыми	7,9	14,8	28,5	38,0	40,7	39,8	39,0	37,3	36,1	35,5

Наиболее интенсивно развиваются у новорожденных:

- болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм;
- болезни нервной системы (в том числе детский церебральный паралич)
- болезни органов дыхания и органов пищеварения;
- врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения;
- травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин.

Таким образом, дальнейшее развитие детей – потенциальной рабочей силы – происходит при имеющихся недостатках их физического развития, что существенно затрудняет формирование трудовых и иных навыков.

Также не вселяет надежду на изменение ситуации здоровье школьников, значительно ухудшившееся за последние 10 лет. В соответствии с Законом РФ «Об образовании» здоровье школьников относится к приоритетным направлениям государственной политики в сфере образования. По данным Минздрава России, лишь 14% детей практически здоровы, более 50% имеют различные функциональные отклонения, 35-40% – хронические заболевания. Из миллиона относительно здоровых детей, приходящих в первый класс, уже через девять месяцев у каждого четвертого (250 тыс.) выявляются отклонения в функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы. В России лишь 10% выпускников школ могут считаться здоровыми. За период обучения в общеобразовательных учреждениях среди учащихся в пять раз увеличивается число нарушений органов зрения, в три раза – патология органов пищеварения, в пять раз – нарушение осанки, в четыре раза – нервно-психических расстройств. Самый значительный рост заболеваемости (в 1,5 раза) за последние 10 лет отмечается среди подростков старшей возрастной группы (15-17 лет). Анализ результатов общероссийской диспансеризации свидетельствует о том, что эта возрастная группа может быть охарактеризована как критическая.²

Это связано во многом с нарушением образа жизни, несоблюдением самых разных элементарных мероприятий, которые направлены на поддержание здоровья. Сегодня дети практически не гуляют, большую часть времени проводят за компьютером. Негативное воздействие на здоровье оказывает широко распространенная реклама пива, фаст-фуда и других опасных для детей продуктов.

¹ Россия в цифрах. Федеральная служба государственной статистики. <http://www.gks.ru/>

² Особенности состояния здоровья современных школьников. Материалы к докладу «Школа – 2020. Какой мы ее видим». М., 2008.

Следовательно, вступая в трудоспособный возраст, большая часть молодежи не в состоянии полноценно участвовать в производственной деятельности. Это в значительной степени осложняет карьерный рост, не способствует повышению производительности труда, снижает трудовую мотивацию.

Таким образом, чтобы формировать рабочую силу, необходимо кардинально изменить состояние базовой характеристики, то есть состояние здоровья населения. Для этого следует предпринять ряд мер.

Во-первых, необходимо изменить политику по отношению к семье, улучшить материальное положение молодых семей, помочь им решить жилищный вопрос, должна быть решена проблема дефицита мест в детских садах, усилена государственная поддержка семей с детьми. Согласно предвыборной программе В.В. Путина, семья должна стать центром государственной политики. Государство обязано создать условия, чтобы каждый мог обеспечить достойный уровень жизни своей семьи за счёт своего труда и предпринимательства, в максимальной степени мог реализовать свой потенциал.¹ Все это должно способствовать увеличению уровня доходов, повышению уровня и качества жизни, что, в свою очередь, создаст возможность обеспечить благоприятные для сохранения здоровья условия жизни, полноценное питание, отдых, то есть осуществлять возмещение затрат рабочей силы и её воспроизводство.

Во-вторых, необходимо кардинально изменить отношение общества к своему здоровью.

Очевидно, что ухудшение здоровья ведет к снижению работоспособности и конкурентоспособности работника, значительной потере рабочего времени, исчисляемой сотнями миллионов рабочих дней. Поэтому и государство, и работодатель, да и сам работник заинтересованы в полном и эффективном воспроизводстве здоровья рабочей силы.

В западных странах поддержание собственного здоровья является достаточно популярным направлением. В нашем обществе не сформировалось еще сознательное поведение по отношению к своему здоровью как базовой ценности, предопределяющей сущность жизненного пути человека. Еще до конца не осознана роль здоровья в достижении экономического процветания, и слабое здоровье пока не воспринимается населением в качестве серьезного препятствия, затрудняющего достижение жизненного успеха.

До 2020 года в России планируется повысить расходы на здравоохранение до уровня развитых стран. На сегодняшний день государственные расходы на здравоохранение составляют 3,8% от ВВП (включая физкультуру и спорт), тогда как в развитых странах этот показатель в 1,5 – 2 раза выше. Например, во Франции он составляет 8,8% от ВВП, в Дании – 8,4 %, в Швеции – 7,5%, в Нидерландах – 7,4%.

Государством также ставятся задачи до 2020 года сократить уровень смертности и увеличить среднюю продолжительность жизни населения России. Это потребует системных изменений в организации медицинской помощи, технического перевооружения медицинских организаций, качественного изменения кадрового потенциала здравоохранения, создания таких условий, чтобы люди имели возможность и сами стремились поддерживать свое здоровье за счет профилактики заболеваний, занятий физической культурой и спортом. Регулярные занятия физкультурой и спортом, отказ от вредных привычек должны стать нормой жизни для всех.

Отметим, что государственная пропаганда здорового образа жизни привела к тому, что, в 2 раза увеличилась численность занимающихся в физкультурно-оздоровительных клубах, секциях и группах, с 12803,4 тыс. чел. в 2000 г. до 26262,3 тыс. чел. в 2010 г. В последнее десятилетие возросло число спортивных сооружений (дворцы спорта, легкоатлетические и футбольные манежи, спортивные залы, плавательные бассейны и другие сооружения) с 198304 в 2000 г. до 247955 в 2010 г. Это свидетельствует о популяризации спортивного стиля жизни, быть здоровым становится модно и выгодно.

В-третьих, необходимо улучшить материальную базу школьников, так как именно в школьном возрасте происходит формирование потенциалов рабочей силы.

В школьный период формируется здоровье человека на всю последующую жизнь. Многое здесь зависит от семейного воспитания, но, учитывая, что дети проводят в школе значительную часть дня, заниматься их здоровьем должны, в том числе, и в школе.

Большее внимание необходимо уделить качественной организации сбалансированного горячего питания, медицинского обслуживания и спортивных занятий школьников. На улучшение здоровья школьников в значительной степени могут повлиять своевременная диспансеризация, реализация профилактических программ, организация внеурочных спортивных мероприятий, обсуждение с детьми вопросов здорового образа жизни. Важно перейти от одинаковых для всех требований к состоянию здоровья к индивидуальному мониторингу и программам развития и поддержания здоровья учащихся. Важно охранять детское здоровье, но гораздо важнее пробудить в детях желание заботиться о

¹ Путин 2012. Предвыборная программа Всероссийской политической партии «Единая Россия» (на выборах Президента России 4 марта 2012 года). <http://putin2012.ru/program>

своем здоровье. Для реализации поставленных задач требуется новая школьная инфраструктура. Нужны новые по архитектуре и дизайну привлекательные школьные здания; современные столовые здорового питания; оснащенные новым оборудованием актовые и спортивные залы; медиacentры и библиотеки; комфортная школьная гигиена и организация медицинского обслуживания.¹

Таким образом, все эти меры будут способствовать формированию здоровья населения как основы формирования рабочей силы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Землянухина Н.С. Здоровье как направление инвестиций в человеческий капитал и фактор конкурентоспособности работников / Н.С. Землянухина // Социально-трудовая сфера на этапе посткризисной модернизации экономики: сб. науч. статей по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Саратов, 2011.
2. Козлов Ю.Н. Формирование и использование рабочей силы на фоне ухудшения здоровья населения / Ю.Н. Козлов // Уровень жизни населения регионов России. 2011. № 1. С. 93-97.
3. Национальная образовательная инициатива «Наша новая школа». <http://mon.gov.ru/dok/akt/6591/>
4. Одегов Ю.Г. Экономика труда: учеб.: в 2 т. Т. 1 / Ю.Г. Одегов, Г.Г. Руденко, Л.С. Бабынина. М.: Альфа-Пресс, 2007. 760 с.
5. Особенности состояния здоровья современных школьников: материалы к докладу «Школа – 2020. Какой мы ее видим». М., 2008.
6. Путин 2012. Предвыборная программа Всероссийской политической партии «Единая Россия» (на выборах Президента России 4 марта 2012 года). <http://putin2012.ru/program>
7. Россия в цифрах. Федеральная служба государственной статистики. <http://www.gks.ru/>

Крысина Искра Евгеньевна –
доктор экономических наук кафедры
«Экономическая теория и экономика труда»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Iskra E. Krygina –
Dr. Sc., Professor
Department of Economic Theory
and Labor Economy
Gagarin Saratov State Technical University

Елистратова Наталья Николаевна –
аспирант кафедры «Экономическая теория
и экономика труда» Саратовского
государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Natalya N. Elistratova –
Postgraduate
Department of Economic Theory
and Labor Economy
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.06.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 332.05

О.И. Кузнецов, А.А. Сытник, К.С. Терентьев

МЕТОДЫ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ И ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Рассматриваются основные методы стратегического прогнозирования на
предприятиях медицинской промышленности.*

Инновационная деятельность, прогнозирование

O.I. Kuznetsov, A.A. Sytnik, K.S. Terentyev

METHODS FOR DEVELOPING INNOVATIVE AND INVESTMENT ACTIVITY OF ECONOMIC SYSTEMS

*The article examines the main methods of the strategic enterprises in the medical
industry.*

Innovation, forecasting

¹ Национальная образовательная инициатива «Наша новая школа». <http://mon.gov.ru/dok/akt/6591/>

Понятие стратегическое прогнозирование впервые появилось в Америке в 1950-е годы. Необходимость данного метода прогнозирования появилась в связи с развитием бизнеса, которому необходимо было быстро реагировать на стремительные изменения во внешней среде. Конечно же, стратегическое прогнозирование появилось не спонтанно. Многие элементы стратегического прогнозирования использовались гораздо раньше, целостная картина стала формироваться в 50-е годы, а первые упоминания в экономических словарях стали появляться в начале 60-х. Первой компанией, которая стала применять стратегическое планирование, была Американская консалтинговая компания McKinsey & Company. Данная компания начала свою историю развития в 1926 году и существует до сих пор, являясь мировым лидером на рынке консалтинговых услуг, специализируясь в основном на задачах стратегического прогнозирования.

Основными теоретиками стратегического прогнозирования были: Чандлер Альфред Дюпон (Стратегия и структура: Главы из истории американского промышленного предприятия (1962 г.)), Питер Фердинанд Друкер (Technology, Management and Society (1970 г.)), Портер, Майкл Юджин Interbrand Choice, Strategy, and Bilateral Market Power (Harvard Economic Studies (1976 г.)), Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors (1980 г.), Игорь Ансофф (Стратегический менеджмент (1979 г.)), Новая корпоративная стратегия (1988 г.), Питер Дойль (Менеджмент: стратегия и тактика (1979 г.)), Артур Томпсон и А. Дж. Стрикленд (Стратегический менеджмент. Концепции и ситуации для анализа (1981 г.)), Филип Котлер (Strategic Marketing for Educational Institutions (1971 г.), Strategic Marketing for Health Care Organization: Building a Customer Driven Health Care System (1975 г.)).

Этими учёными было основано несколько школ стратегического прогнозирования таких как:

- *Гавайская школа;*
- *Школа планирования;*
- *Позиционная школа;*
- *Школа предпринимательства;*
- *Школа конгнитивизма;*
- *Школа обучения;*
- *Школа власти;*
- *Школа культуры;*
- *Школа внешней среды;*
- *Школа конфигурации.*

Г. Минцберг, относящий себя к школе конфигурации, отмечает, что все школы практически основываются на одной теоретической конструкции, или базовой модели, отличаясь между собой главным образом в деталях, а не в фундаментальных принципах построения.

Разработки школы дизайна М. Портер, Ф. Селзник, А.Д. Чандлер, К. Эндрюс, С.Р. Кристенсен, Дж.Л. Боуэр, Р.Г. Хамермеш (Гарвардская группа) являются наиболее популярными и включены в бизнес-курсы MBA. Основной заслугой этой школы считается введение фундаментального положения стратегического управления – обеспечение соответствия между внешними возможностями и внутренним потенциалом предприятия. Представители этой школы являются авторами методики проведения SWOT-анализа и подхода к формированию системы оценки стратегий: последовательность, согласованность, преимущество, осуществимость. Хотя принципы школы дизайна устаревают и имеют ряд внутренних ограничений, не срабатывая в сложных ситуациях и системах, на ее основе формировались новые теоретические направления стратегического менеджмента.

На сегодняшний день в Российской Федерации стратегическое прогнозирование на самом высшем государственном уровне осуществляется с помощью региональных и федеральных и отраслевых целевых программ развития, таких как:

Развитие фармацевтической и медицинской промышленности Российской Федерации на период до 2020 года и на дальнейшую перспективу;

Создание системы базирования Черноморского флота на территории Российской Федерации в 2004-2020 годы;

Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года и т.д.

В настоящее время в России осуществляются 55 федеральных целевых программ, общий объём финансирования которых на 2012 год составляет 1055088,5854 млн. рублей.

Федеральная целевая программа – это увязанный по ресурсам, исполнителям и срокам осуществления комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных, социально-экономических, организационно-хозяйственных и других мероприятий, обеспечивающих эффективное решение целевых задач и требующих государственной поддержки.

На других, более низких уровнях стратегического прогнозирования в России складывается похожая ситуация. Россия уже давно избавилась от пережитков прошлого, и применение западных технологий менеджмента, государственного управления, а также методов стратегического планирования уже давно является повсеместным явлением. Поэтому в России при осуществлении стратегического прогнозирования в организациях широко применяются все те же методы стратегического планирования, что и в других экономически развитых странах мира.

Основной задачей стратегического прогнозирования является выработка стратегии. В практике стратегического прогнозирования существует достаточно большое количество методов, с помощью которых представляется возможным выработать верную стратегию. На каждом из этапов применяются различные методы стратегического прогнозирования. Ниже представлены самые распространённые из них.

- *SWOT-анализ;*
- *Модель пяти сил конкуренции Майкла Портера;*
- *Бенчмаркинг;*
- *Дерево целей;*
- *Бизнес-инжиниринг;*
- *Метод «Мак-Кинси» (матричный);*
- *Модель Shell/DPM;*
- *Модель ADL/LC;*
- *PIMS-анализ;*
- *Модель И. Ансоффа;*
- *Модель Г. Стейнера;*
- *Модель Д. Абея;*
- *Система сбалансированных показателей.*

SWOT-анализ – представляет собой оценку внутренней среды фирмы (её силы и слабости), а также внешних возможностей и угроз. Аббревиатура SWOT образована первыми буквами английских слов Strengths – силы, Weaknesses – слабости, Opportunities – возможности, Threats – угрозы.

Модель пяти сил конкуренции М. Портера. Данная методика предполагает изучение четырех основных групп факторов, оказывающих влияние на фирму: политических, социальных, экономических, технологических. Однако на практике анализируется более широкий набор факторов. Несомненно, текущая экономическая ситуация, общественные и политические тенденции, технологическая конкуренция влияют на развитие компании. Но, кроме этого, нельзя не учитывать такие факторы, как: правовой климат, природная среда, демографическая ситуация, культурная среда и т.д., – все они оказывают серьезное влияние на выбор стратегии фирмы. К этим факторам относятся:

- политические факторы (смена правительства, эскалация вооруженных конфликтов, конец холодной войны, усиление или ослабление роли профсоюзов);
- экономические факторы (изменение валового национального продукта, рост или снижение темпов инфляции, рост или сокращение уровня безработицы, изменения курсов валют);
- социальные факторы (снижение или повышение уровня образования, исчезновение и возникновение религиозных течений);
- технологические факторы (разработка и внедрение новых технологий, рост числа техногенных катастроф, ускорение и развитие научно-технического прогресса);
- правовые факторы (развитие законодательства по защите окружающей среды, развитие законодательства, регулирующего предпринимательскую деятельность);
- демографические факторы (рост или сокращение численности населения, рост или сокращение рождаемости, миграция и эмиграция);
- природные факторы (истощение ресурсов, увеличение загрязнения окружающей среды, удорожание энергоносителей);
- культурные факторы (сохранение устойчивости базовых культурных ценностей, изменение вторичных культурных ценностей, развитие субкультур).

Бенчмаркинг (Benchmarking) – это использование чужого опыта, успешных идей и методов в целях повышения эффективности работы своей компании, совершенствование своих бизнес-процессов. Этот метод основан на успешном применении уже опробованных на практике идей и методов достижения поставленных целей, заимствованных у конкурентов.

Конкурентный бенчмаркинг – сопоставление своих бизнес-процессов, продукции и конкурентных преимуществ с бизнес-процессами, продукцией и конкурентными преимуществами своих прямых конкурентов.

Функциональный бенчмаркинг – сопоставление отдельных функций двух или более компаний в одном и том же сегменте рынка.

Общий бенчмаркинг – анализ и заимствование передовых достижений организаций, работающих в других сегментах рынка.

Внутренний бенчмаркинг – сопоставляются характеристики производственных единиц со схожими бизнес-процессами внутри организации.

Кузнецов Олег Иванович – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика труда и управление персоналом» Саратовского социально-экономического института Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова

Oleg I. Kuznetsov – Ph. D., Associate Professor
Department of Labor Economy and Human Resource Management
Saratov Social and Economic Institute - Plekhanov Russian Economics University

Терентьев Кирилл Сергеевич – аспирант кафедры «Экономика труда и управление персоналом» Саратовского социально-экономического института Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова

Kirill S. Terentyev – Postgraduate
Department of Labor Economy and Personnel Management
Saratov Social and Economic Institute – Plekhanov Russian Economics University

Сытник Александра Александровна – кандидат экономических наук, профессор кафедры «Общая экономическая теория» Саратовского социально-экономического института Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова

Alexandra A. Sytnik – Ph. D., Professor
Department of General Economics Theory
Saratov Social and Economic Institute – Plekhanov Russian Economic University

Статья поступила в редакцию 15.08.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 332.05

К.С. Терентьев, О.И. Кузнецов, А.А. Сытник

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассматриваются основные методы прогнозирования инновационной деятельности предприятия медицинской промышленности.

Инновационная деятельность, прогнозирование

K.S. Terentyev, O.I. Kuznetsov, A.A. Sytnik

FORECASTING THE INNOVATIVE ACTIVITY OF THE MEDICAL ENTERPRISES

The paper examines the main methods of forecasting innovations at the enterprises in the medical industry.

Innovation, forecasting

Прогнозирование всегда являлось важной функцией управления в любой организации независимо от форм собственности и методов управления. В современных условиях роль прогнозирования существенно возросла. Прогнозирование является важнейшим методом экономического управления организации, задачей которого является проектирование желаемого положения дел в будущем. В со-

временных условиях рыночной экономики планированию уделяется очень большое внимание, и чем больше по масштабам организация, тем большую роль в её деятельности играет этот аспект экономической и хозяйственной деятельности. Прогнозирование подразумевает собой осуществление в той или иной степени следующих этапов.

Обычно выделяют восемь этапов в процессе прогнозирования.

Этап 1. Целеполагание (формулировка целей). Чего именно вы (или ваша фирма) хотите достичь? Это самый трудный этап. Его нельзя формализовать. Личность менеджера проявляется именно в том, какие цели он ставит.

Этап 2. Подбор, анализ и оценка способов достижения поставленных целей. Обычно можно действовать разными способами. Какой из них представляется наилучшим? Какие можно сразу отбросить как нецелесообразные?

Этап 3. Составление перечня необходимых действий. Что конкретно нужно сделать, чтобы осуществить выбранный на предыдущем этапе вариант достижения поставленных целей.

Этап 4. Составление программы работ (плана мероприятий). В каком порядке лучше всего выполнять намеченные на предыдущем этапе действия, учитывая, что многие из них связаны между собой?

Этап 5. Анализ ресурсов. Какие материальные, финансовые, информационные, кадровые ресурсы понадобятся для реализации плана? Сколько времени уйдет на его выполнение?

Этап 6. Анализ разработанного варианта плана. Решает ли разработанный план поставленные на этапе 1 задачи? Являются ли затраты ресурсов приемлемыми? Есть ли соображения по улучшению плана, возникшие в ходе его разработки при движении от этапа 2 к этапу 5? Возможно, целесообразно вернуться к этапу 2 или 3, или даже к этапу 1?

Этап 7. Подготовка детального плана действий. Необходимо детализировать разработанный на предыдущих этапах план, выбрать согласованные между собой сроки выполнения отдельных работ, рассчитать необходимые ресурсы. Кто будет отвечать за отдельные участки работы?

Этап 8. Контроль за выполнением плана, внесение необходимых изменений в случае необходимости. В различных научных трудах эти этапы могут называть иначе, и их количество также может изменяться, но все они в той или иной степени расширяют или дополняют представленные выше этапы.

В экономически развитых странах прогнозированию уделяется очень большое внимание, т.к. данный экономический инструмент является неотъемлемой частью ведения народного хозяйства. Прогнозирование позволяет точно знать, что ожидает тот или иной элемент народного хозяйства в ближайшем или далёком будущем. С помощью прогнозирования достигается согласованность действий всех элементов народного хозяйства. Поэтому прогнозирование является важнейшим инструментом управления не только на уровне отдельно взятого элемента экономики, но и в масштабах государства.

Прогнозирование разделяется на несколько видов: стратегическое, долгосрочное, краткосрочное, текущее. Самым крупным видом планирования является стратегическое прогнозирование.

Стратегическое прогнозирование – это построение системы управления, обеспечивающей долгосрочное конкурентное преимущество организации в области менеджмента. Продолжительность периода, на который осуществляется стратегическое прогнозирование, обычно составляет 20-50 лет. Стратегическое прогнозирование задает направления для деятельности организации и позволяет ей лучше понимать структуру маркетинговых исследований, процессы изучения потребителей, планирования продукции, ее продвижения, и сбыта, а также планирования цен.

На этапе стратегического прогнозирования, как правило, осуществляется разработка таких понятий как:

- миссия организации;
- цели компании;
- оценка и анализ внешней среды;
- выработка стратегии организации.

На основе выработанных стратегий осуществляется долгосрочное прогнозирование. Если стратегическое прогнозирование обосновывает общие цели и направления развития организации, то долгосрочное прогнозирование разбивает эти понятия на отдельные задачи с указанием конкретных сроков, конкретного бюджета, тем самым выработанная стратегия развития получает экономическое обоснование. Долгосрочное прогнозирование в среднем осуществляется на период 10-15 лет. В период долгосрочного прогнозирования разрабатываются средства достижения стратегических целей, таких как:

- организационная структура компании;
- поиск и получение средств производства;
- осуществление капиталовложений;
- осуществление исследовательской деятельности.

На основе долгосрочного прогнозирования осуществляется краткосрочное прогнозирование. Периоды краткосрочного прогнозирования, как правило, не превышают 1-5 лет. Краткосрочное прогнозирование более подробно описывает цели задачи долгосрочного плана, которые, в свою очередь, являются подзадачами долгосрочного плана. Краткосрочный план включает конкретные способы достижения поставленных целей с использованием конкретных ресурсов компании. Особенностью краткосрочного прогнозирования является то, что оно больше подвержено изменению в ту или иную сторону.

Следующим видом прогнозирования является текущее прогнозирование. В силу быстро изменяющегося положения дел и расстановки сил на рынке в странах с развитой экономикой этому виду прогнозирования также уделяется большое внимание. Также большую роль в актуализации текущего прогнозирования играют общедоступность информации и очень высокая скорость её распространения. Текущее прогнозирование решает, как правило, неожиданно возникшие проблемы. И, по сути, выполняются они не целым предприятием или организацией, а его отдельным подразделением или отдельным человеком.

Несмотря на то, что в разных организациях по-разному оценивают сроки прогнозирования и по-разному относятся к тому или иному этапу, прогнозирование деятельности предприятия невозможно без реализации следующих основополагающих принципов прогнозирования:

- принцип необходимости;
- принцип единства;
- принцип непрерывности;
- принцип гибкости;
- принцип точности.

Эти принципы планирования были описаны Анри Файолем в 1916 году в настоящее время остаются актуальными и основополагающими принципами прогнозирования.

Принцип необходимости означает, что любая целесообразная деятельность предполагает целеполагание (постановку задачи) и её выполнение. Между двумя этими этапами находится прогнозирование. Прогнозирование позволяет достичь поставленной задачи, максимально эффективно расходуя имеющиеся средства. Отсутствие прогнозирования при осуществлении какой-либо деятельности приводит к тому, что либо цель не достигается, либо средства, затраченные на её достижение, оказываются слишком велики. Такое развитие событий в современной экономике приводит чаще всего к краху любой организации. Поэтому целесообразно утверждать, что любая коммерческая деятельность подвергается прогнозированию.

Принцип единства означает, что при прогнозировании общая цель разделяется на различные подзадачи, позволяющие достичь той или иной цели, которую преследует организация. В зависимости от масштабности плана количество подзадач, которые, в свою очередь, также могут состоять из нескольких подзадач, может быть достаточно большим. Но каким бы точным ни было прогнозирование, какие бы средства ни были затрачены на реализацию планов, все равно любая компания находится во взаимодействии с внешней средой, которая непрерывно меняется. Поэтому изменяться должны и планы, реагируя на малейшие отклонения. Принцип единства заключается в том, что подзадачи, реализуемые при выполнении плана, не должны противоречить друг другу и общей цели, иначе выполнение основного плана будет невозможным или экономически невыгодным.

Принцип непрерывности означает непрерывность прогнозирования на всех этапах существования организации. Пока организация осуществляет деятельность, она должна осуществлять прогнозирование. Принцип непрерывности позволяет увязать друг с другом различные виды прогнозирования: стратегическое с долгосрочным, долгосрочное с краткосрочным, краткосрочное с текущим прогнозированием. Принцип непрерывности позволяет осуществлять непрерывный контроль за исполнением тех или иных хозяйственных операций, к которым также относится прогнозирование.

Принцип гибкости позволяет оперативно корректировать некоторые плановые показатели, необходимость в корректировке которых возникла из-за влияния каких-либо факторов внешней среды. Этому могут способствовать: постоянное скачкообразное развитие информационных технологий (если деятельность организации напрямую связана с информационными технологиями, то гибкость планирования, как и гибкость всей организационной структуры, является необходимым условием существования таких организаций); развитие научно-технического прогресса (постоянные нововведения в технике позволяют сократить издержки и высвободить дополнительные организационные ресурсы, которые, в свою очередь, можно направить на развитие производства или сократить); в условиях рыночной экономики также возможны значительные колебания цен на различное сырьё и ресурсы, некоторые виды ресурсов имеют ограничения, превышать которые запрещено на законода-

тельном уровне (электроэнергия, вода, арендная плата на землю), но цены на сырьё и материалы регулируются в основном рынком и от резких падений и взлётов цен не застрахована ни одна, даже самая крупная и развитая организация. Поэтому в процессе прогнозирования является необходимым оставлять определённый резерв, который при наступлении фактора риска можно использовать, и организация при этом получит наименьшие убытки. Конечно, данная операция позволяет говорить о погрешности и неточности планирования, но если погрешность прогнозирования остаётся в рамках нормы, то она не является ошибкой или просчётом, данная неточность является необходимым условием менеджмента риска.

Принцип точности по своей сути ни в коем случае не должен противоречить принципу гибкости. Принцип точности и степень его влияния в основном зависят от требований организации к процессу прогнозирования и от вида плана (стратегический, долгосрочный, краткосрочный, текущий). Наибольшая точность характерна для текущих и краткосрочных планов, т.к. они более детализированы и ограничены по времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сытник А.А. Инструменты стимулирования инновационной активности / А.А. Сытник // Вестник СГАУ им. Н.И. Вавилова. 2011. №9. С. 86-91.

Терентьев Кирилл Сергеевич – аспирант кафедры «Экономика труда и управление персоналом» Саратовского социально-экономического института Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова

Kirill S. Terentyev – Postgraduate
Department of Labor Economy and Personnel Management
Saratov Social and Economic Institute – Plekhanov Russian Economic University

Кузнецов Олег Иванович – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика труда и управление персоналом» Саратовского социально-экономического института Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова

Oleg I. Kuznetsov – Ph. D., Associate Professor
Department of Labor Economy and Personnel Management
Saratov Social and Economic Institute – Plekhanov Russian Economics University

Сытник Александра Александровна – кандидат экономических наук, профессор кафедры «Общая экономическая теория» Саратовского социально-экономического института Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова

Alexandra A. Sytnik – Ph. D., Professor
Department of General Economics Theory
Saratov Social and Economic Institute – Plekhanov Russian Economics University

Статья поступила в редакцию 15.08.12, принята к опубликованию 06.09.12

УДК 338.439.4

Е.Н. Трифонова

УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО СПРОСА В СТРАТЕГИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Исследуются тенденции соотношения доходов и расходов населения на продовольственные товары, представлен анализ динамики структуры спроса на продукцию пищевой и перерабатывающей промышленности. Изложена точка зрения автора на формирование причинно-следственных связей между структурой спроса на продовольствие и тенденциями развития отечественной пищевой и перерабатывающей промышленности.

Доходы и расходы населения, структура спроса, перерабатывающая промышленность

E.N. Trifonova

MEETING THE STRUCTURAL CHANGES IN THE CONSUMER DEMAND AS AN INNOVATIVE STRATEGY IN THE PROCESSING INDUSTRY

This article investigates trends in the ratio of income and expenditures for food products, and analyses the dynamics in the structure of demand for food and processing industries. The author presents her ideas relating the formation of causal relationships between the structure of food demand and trends in the development of domestic food processing industry.

Income and spending, demand structure, processing industry

Необходимость участия России в современных процессах глобальной интеграции диктует необходимость стабилизации процессов, протекающих на внутренних потребительских рынках, а также достижения баланса между экспортом и импортом как сырьевых ресурсов, так и переработанной продукции. Соотношение и динамика доходов и расходов населения на приобретение пищевых продуктов являясь одним из определяющих факторов в развитии современной отечественной пищевой и перерабатывающей промышленности. Устойчивый рост внутреннего спроса на продукты питания создает необходимые предпосылки для формирования адекватных условий увеличения предложения на рынке. Однако в случае замедления темпов инновационного развития отрасли спрос на продовольствие может быть компенсирован импортными продуктами, что еще больше усугубит ситуацию, связанную с обеспечением продовольственной безопасности страны. В данной статье изложена точка зрения автора на формирование причинно-следственных связей между структурой спроса на продовольствие и тенденциями развития пищевой и перерабатывающей промышленности России.

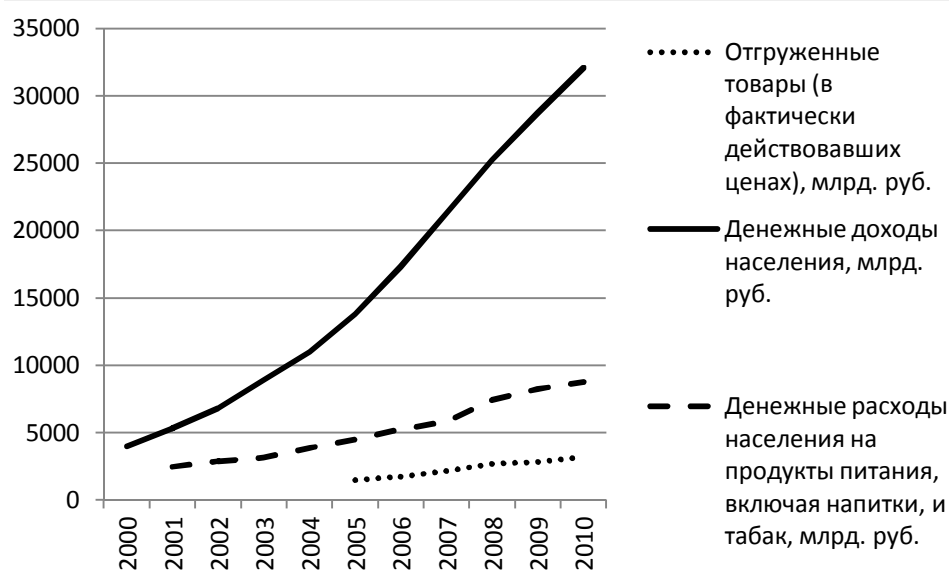


Рис. 1. Динамика денежных доходов, расходов населения на продукцию пищевой и перерабатывающей промышленности, а также объема отгруженных товаров при производстве пищевых продуктов, включая напитки, и табака

На настоящий момент отечественная перерабатывающая промышленность далека от удовлетворения внутреннего спроса населения. Сравнивая темпы роста объемов отгруженных товаров в пищевой и перерабатывающей промышленности, а также доходов и расходов населения на приобретение продуктов питания, даже визуально (рис. 1) видна разница между спросом и предложением отрасли. Если предположить, что сохраняются существующие тенденции прироста показателей, простая экстраполяция кривых на ближайшую перспективу дает неутешительные результаты – со временем отрыв между ними будет только увеличиваться. В случае отсутствия сбалансированных мер как со стороны производителей, так и со стороны государства, существующую разницу в предложении компенсирует импорт. Составить же конкуренцию импорту можно? только повышая качество продукции путем усиления инновационной составляющей, способствующей снижению издержек и увеличению добавленной стоимости. Инновационная деятельность должна охватывать все стадии: начиная от разработки и производства и заканчивая транспортировкой, хранением и современными маркетинговыми методами продвижения товара. При этом, учитывая сформулированные ниже зависимости, необходимо придерживаться

приемлемого для конкретной потребительской группы диапазона цен на каждую группу товаров. А это невозможно без адекватных мер по поддержке отечественного производителя со стороны государства, допустимых в рамках достигнутого соглашения по вступлению России в ВТО.

Безусловно, существует зависимость между объемами производства перерабатывающей промышленности и доходами населения. На протяжении последних лет (с 2005 по 2010 гг.) видна однонаправленная тенденция к увеличению как денежных доходов населения, так и объема отгруженных товаров (табл. 1). Чтобы уточнить данную зависимость, было рассчитано соотношение этих двух показателей. На данном этапе исследований интересно не само численное значение рассчитанного показателя, а его динамика. При этом, как показывают расчеты, практически не наблюдаются колебания значений соотношения, что говорит о достаточно тесной зависимости между доходами населения и процессами, происходящими в пищевой промышленности.

Таблица 1

Показатели, характеризующие соотношение развития перерабатывающей промышленности и динамики доходов населения

Показатели	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности: производство пищевых продуктов, включая напитки, и табака (в фактически действовавших ценах; млрд. руб.)	1485,7	1729,2	2143,3	2656,0	2822,1	3195,4
Среднедушевые денежные доходы населения (в год), руб.	97342,8	122352	151232,4	179287,2	202282,8	226575,6
Среднедушевые расходы на продукты питания, включая напитки, и табак (в год), руб.	31164,8	36723,5	40991,3	52368,4	58126,3	61168,6
Доля в общих потребительских расходах на продукты питания, %	31,5	29,9	26,8	27,6	28,8	28,0
Соотношение объема отгруженных товаров и среднедушевых годовых денежных доходов населения, млрд.руб./руб.	0,015	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014

С использованием данных: Российский статистический ежегодник. 2011: стат. сб. / Росстат. М., 2011. 795 с.

Анализируя структуру потребительских расходов населения на приобретение продуктов питания (табл. 2), можно сделать следующие выводы. До 2007 года наблюдался рост доли расходов на продукты питания, включая напитки, и табак в общей структуре потребительских расходов. Однако на фоне продолжающейся тенденции увеличения денежных доходов населения (рис. 1, табл. 1), с 2007 года произошло снижение доли средств в общей структуре расходов на приобретение продуктов питания, и к 2010 году она составила 32%, что на 10,8% ниже уровня 2005 года. При этом если рассматривать структуру трат населением по основным группам товаров, то можно увидеть, что за период с 2005 по 2010 гг. не произошло значительных сдвигов в распределении средств между ними. Однако при детальном изучении проявляется так называемый эффект замещения, неоднократно описываемый автором [1, 2, 4 и пр.]. При уравнивании общей суммы затрат на продукты питания наблюдается незначительное перераспределение спроса между товарами. Например, в 2008 году снижение расходов на мясо, рыбу, сахар и кондитерскую продукцию компенсировалось увеличением расходов на остальные группы товаров, в частности хлебобулочные изделия и крупы. Учитывая существующий достаточно низкий уровень среднедушевых денежных доходов, а также далекие от рациональных норм питания объемы среднегодового душевого потребления практически по всем основным группам товаров, можно предположить, что в основе смещения спроса лежит ценовой фактор.

Из результатов исследования доходов населения в разрезе основных групп, дифференцированных в зависимости от уровня располагаемых ресурсов, следует, что даже самые состоятельные слои вынуждены тратить почти четверть своих ресурсов на приобретение продовольствия, а самые низкодоходные группы практически половину своих средств [3]. Учет данного факта на современном этапе развития экономики является определяющим для развития отечественной пищевой и перерабатывающей промышленности. По данным исследований специалистов [6] в области экономического роста, сейчас Россия находится на таком этапе развития, когда различным отраслям необходимо составлять свои приоритеты – роста или развития. Учитывая сложившуюся ситуацию, для перерабатывающей промышленности приоритетом должен стать не столько рост (в виде увеличения объемов производства), сколько развитие, основной целью которого является улучшение всех относительных и удельных показателей, а именно, производительности труда, фондоёмкости, фондовооруженности и т.п. А это возможно только в случае инновационного подхода и формирования условий для инвестиционных вливаний в отрасль. Особую остроту проблема приобретает в связи с уже упомянутым вступ-

лением России во Всемирную торговую организацию, когда при пессимистическом варианте развития событий на внутреннем рынке произойдет вытеснение отечественных продуктов питания и их замещение более дешевыми (и не исключено, что менее качественными) аналогами импортного производства.

Ориентация на теории макроэкономического равновесия (Л. Вальрас, Дж. Кейнс, Дж. Нейман, А. Маршалл, В. Парето, Дж. Хикс, В.А. Волконский, В.М. Полтерович и др.) позволяет предположить, что выявленная структура спроса на продукцию пищевой промышленности является ориентиром при определении востребованного предложения на рынке. В связи с этим остро возникает проблема обеспечения конкурентных преимуществ российских предприятий перерабатывающей промышленности перед зарубежными производителями. А этого возможно добиться лишь при условии грамотной сбалансированной стратегии развития отрасли при создании благоприятного инвестиционно-инновационного климата.

Таблица 2

Структура потребительских расходов домашних хозяйств на пищевые продукты, включая напитки, и табак (в процентах)

Показатели	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Доля расходов на продукты питания, включая напитки, и табак в общей структуре потребительских расходов	35,9	34,3	30,8	31,4	32,9	32,0
Потребительские расходы на пищевые продукты, включая напитки и табак – всего	100	100	100	100	100	100
из них:						
продукты питания	87,74	87,17	87,01	87,90	87,54	87,50
в том числе:						
хлебобулочные изделия и крупы	15,60	14,87	14,61	15,29	14,59	14,06
мясо	28,41	28,28	27,92	27,39	27,66	27,50
рыба, морепродукты	5,57	5,54	5,84	5,73	6,08	5,63
молочные изделия, сыр и яйца	12,26	11,95	12,66	13,06	12,77	12,81
масла и жиры	3,90	3,50	3,57	3,82	3,34	3,44
фрукты	6,13	6,12	6,49	6,69	6,69	6,88
овощи	6,96	7,00	7,47	7,64	7,60	7,81
сахар, джем, мед, шоколад и конфеты	6,96	7,00	6,49	6,05	6,69	7,19
другие продукты питания	2,23	2,92	1,95	2,23	2,43	2,19
безалкогольные напитки	4,74	4,96	5,19	4,78	5,17	5,00
алкогольные напитки	5,29	5,54	5,52	5,10	5,17	5,00
табачные изделия	2,23	2,33	2,27	2,23	2,13	2,50

* Рассчитано автором на основе данных: Российский статистический ежегодник. 2011: стат. сб. / Росстат. М., 2011. 795 с.

Одним из определяющих факторов в развитии отечественной пищевой и перерабатывающей промышленности является дальнейшее увеличение расходов населения на приобретение продуктов питания при одновременном снижении их доли в общей структуре расходов на фоне неуклонного роста среднедушевых денежных доходов. Однако из рис. 2 следует, что в ближайшее время не ожидается переломления существующих тенденций роста как доходов населения, так и, соответственно, расходов на продукты питания. Хотя все же представляется вероятным замедление темпов роста как доходов, так и расходов, что, безусловно, необходимо учитывать в стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности.

Не стоит забывать, что сам факт роста доходов населения не является определяющим в дальнейшем развитии ситуации. Изначально низкий уровень среднедушевых денежных доходов на фоне неоправданно высокой степени дифференциации населения по доходам является серьезным тормозящим фактором, сдерживающим экономический рост в стране в целом, что подтверждается исследованиями экономистов [5].

На данном этапе, по мнению автора, необходимо постепенно отходить от утверждения, что отечественный продовольственный рынок имеет неисчерпаемый потенциал. Безусловно, еще существует значительный резерв по многим продуктовым нишам, хотя бы учитывая тот факт, что еще не достигнуты рациональные нормы питания. Однако перспективы имеет подход, ориентированный на структурные сдвиги внутри перерабатывающей промышленности, а также на изменение пропорций в потреблении продукции, прошедшей промышленную переработку, и необработанных аналогов. Ориентируясь на опыт развитых стран, наиболее вероятный сценарий трансформации потребительского спроса связан с увеличением в общем потреблении доли продукции глубокой переработки и снижением удельного веса потребления сельхозпродукции. Кроме того, как уже было отмечено, особую

остроту приобретает вопрос импортозамещения в свете решения проблемы обеспечения продовольственной безопасности страны. По заявлению Е. Скрынник [7], наряду с обеспечением продовольственной безопасности, поддержанием достаточного уровня доходности и инвестиционной привлекательности сельского хозяйства, комплексным развитием социальной сферы села, основной целью новой Госпрограммы является усиление роли России как ведущего игрока на глобальном рынке продовольствия. При этом не стоит недооценивать роль перерабатывающей промышленности в достижении поставленной цели.

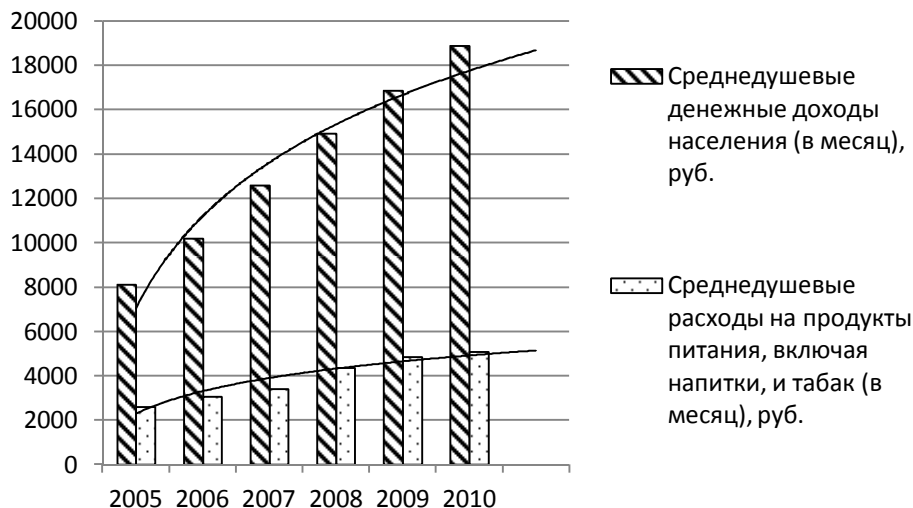


Рис. 2. Краткосрочный прогноз соотношения среднедушевых денежных доходов населения и расходов на продукты питания, включая напитки, и табак

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриященко С.А. Оценка состояния и прогнозирование динамики рынков взаимозаменяемых продовольственных товаров: монография / С.А. Андриященко, Е.Н. Трифонова. Саратов: СГТУ, 2005. 168 с.
2. Трифонова Е.Н. Методические предпосылки учета специфики развития региональных продовольственных рынков взаимозаменяемых товаров / Е.Н. Трифонова // Управление производственно-финансовыми системами: отраслевой и региональный аспекты: сб. науч. ст. Саратов: СГТУ, 2009. 130 с.
3. Трифонова Е.Н. Рост расходов населения на продукты питания как фактор устойчивого развития отечественной перерабатывающей промышленности / Е.Н. Трифонова // Закономерности развития региональных агропродовольственных систем: материалы Всероссийской школы молодых ученых. Саратов: Изд-во ИАГП РАН, 2011. 260 с.
4. Трифонова Е.Н. Теоретические подходы к оценке влияния взаимозаменяемости на уровень потребления продовольственных товаров / Е.Н. Трифонова // Региональные агросистемы: экономика и социология. Ежегодник. Саратов: Изд-во ИАГП РАН, 2009. № 1.
5. Решетникова Е.Г. Темпы и формы дифференциации доходов населения на современном этапе / Е.Г. Решетникова // Региональные агросистемы: экономика и социология / Ежегодник. Саратов: Изд-во ИАГП РАН, 2011. № 2.
6. Четвертакова В. Экономический рост и развитие / В. Четвертакова, И. Четвертаков // Экономист. 2008. № 11. С. 35-38.
7. Усиление роли России как ведущего игрока на глобальном рынке продовольствия // Доступ: AGRORU.com от 22.02.2012

Трифонова Елена Николаевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Менеджмент, коммерция и право» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Elena N. Trifonova – Ph. D., Associate Professor of the Department Management, Commerce and Law, Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 23.06.12, принята к опубликованию 06.09.12