

**ВЕСТНИК  
САРАТОВСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
2012**

**№ 4 (68)**

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.

**Выходит один раз в квартал**

Ноябрь 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 15.11.12  
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.  
Усл. печ. л. 40,0 Уч.-изд. л. 20,55  
Тираж 500 экз. Заказ 243  
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.)



Scientific Journal

Since 2003

**Once in a quarter**

November 2012

*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. Rezhnikov, 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: 15.11.12  
Format 60×84 1/8 Paper offset.  
Apr. tp. l. 40,0 Acc.-pbl. l. 20,55  
Edition 500 psc. Order 243  
Printed in publishing house of SSTU,  
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054,  
Russia

## СОДЕРЖАНИЕ

**МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА**

<b>Блинкова А.Ю.</b> Моделирование нелинейных волн деформаций в физически линейных вязкоупругих цилиндрических оболочках, содержащих вязкую несжимаемую жидкость.....	7
<b>Видин Ю.В., Иванов Д.И.</b> Расчет собственных чисел в задаче нестационарной теплопередачи через цилиндрическую стенку при граничных условиях 1-го рода .....	15
<b>Выгодчикова И.Ю.</b> О математическом моделировании структуры технической системы с равномерно распределёнными рисками.....	17
<b>Иванов С.В.</b> Моделирование волн деформаций в геометрически и физически нелинейной оболочке, содержащей вязкую несжимаемую жидкость .....	22
<b>Ковалева И.А.</b> Моделирование динамики нелинейных волн в соосных физически нелинейных оболочках, содержащих вязкую несжимаемую жидкость между ними .....	28
<b>Овчинникова Н.В., Чеботаревский Ю.В.</b> Применение метода множителей Лагранжа к решению контактной задачи о взаимодействии деформируемой среды с относительно жестким индентором.....	36

**ФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

<b>Балаболин А.Г.</b> Расчет широкополосного эквалайзера в диапазоне 6-12 ГГц.....	44
<b>Зимняков Д.А., Ушакова О.В., Ювченко С.А., Чекмасов С.П., Потоцкий И.Д., Горшков Н.В.</b> Резонансы Фрелиха в нанопластинах гидратированного титаната калия .....	50
<b>Зоркин А.А., Семенов С.В., Брюхова М.С.</b> Динамика газовой фазы электровакуумных приборов при их откачке .....	56
<b>Окишев Ю.А., Клинаев Ю.В.</b> Разработка математической модели баллистического анализа перелета космического аппарата с низкой околоземной орбиты в точку либрации L1 системы «Земля-Луна» как решение частной ограниченной задачи трех тел с учетом прецессии орбиты Луны.....	61
<b>Розов А.С., Байбури В.Б.</b> Анализ регулярных и хаотических траекторий зарядов в заряженном цилиндрическом пучке .....	68
<b>Станкевич Н.В., Дворак А.А., Астахов В.В.</b> Квазипериодические колебания и переход к гиперхаосу в двух противофазно возбуждаемых осцилляторах Тоды.....	72
<b>Царев В.А., Мирошниченко А.Ю., Чигуров И.О.</b> Исследование многолучевого клистрона с двухмодовым промежуточным резонатором .....	76

**ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

<b>Бессарабов А.М., Иванов М.Я., Квасюк А.В.</b> CALS-технология получения особо чистых нанопорошков в низкотемпературной плазме с криогенной закалкой .....	81
<b>Гороховский А.В., Смирнова О.А., Азаров А.С., Сафонов В.В., Третьяченко Е.В., Гоффман В.Г., Шиндров А.А., Колбасина Т.В.</b> Получение синтетического серпентина, оптические и трибологические характеристики олеофильных дисперсий .....	85
<b>Ильиных И.А., Юдин А.Г., Шатрова Н.В., Шевелев А.А., Литовченко Д.И., Мостовой А.С., Арзамасцев О.С., Ермоленко А.В., Кузнецов Д.В., Бурмистров И.Н.</b> Исследование взаимосвязи структурных и механических свойств дисперснонаполненных полимерных композиционных материалов .....	90
<b>Кадыкова Ю.А., Улегин С.В., Фархутдинова Э.Г., Сотник В.А.</b> Полимерматричные композиционные материалы на основе эпоксидной матрицы, наполненной дисперсным базальтом .....	97
<b>Попова С.С., Гоц А.Е., Маковецкая Ю.П.</b> Электрохимическое модифицирование поверхности титана в кислых фуллеренсодержащих растворах молибдата натрия.....	100
<b>Пошивалова Е.Ю., Астахов А.С., Гавкина М.С.</b> Исследование технологии получения и свойств лантансодержащих биокомпозиционных покрытий изделий медико-технического назначения.....	104
<b>Финаенов А.И., Шпак И.Е., Афонина А.В., Забудьков С.Л., Яковлев А.В.</b> Терморасширенный графит в электродах химических источников тока.....	107
<b>Черемухина И.В., Студенцов В.Н., Ибаев М.О., Гильман А.А.</b> Применение различных физических обработок в технологии наполненных реактопластов.....	113

**МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

<b>Бровкова М.Б., Мартынов В.В., Свиридов С.В.</b> Обоснование и разработка алгоритма идентификации качества динамических процессов при резании .....	118
<b>Горбачёв В.О., Погораздов В.В.</b> Компьютерная поддержка для формообразования концевым инструментом незамкнутых эллиптических поверхностей в шарнирах равных угловых скоростей.....	125
<b>Журавлев М.М., Решетникова О.П., Мирошкин А.Г.</b> Влияние мощности лазерного излучения на изменение твердости поверхностного слоя деталей.....	130
<b>Манюшин Д.В., Насад Т.Г.</b> Метод повышения стойкости режущих твердосплавных пластин для обработки труднообрабатываемых сплавов .....	133
<b>Манюшин Д.В., Насад Т.Г.</b> Экспериментальные исследования зависимости шероховатости и величины усадки стружки от режимов обработки для прецизионного сплава 36НХТЮ .....	135

**ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

<b>Аминов Р.З., Егоров А.Н., Юрин В.Е.</b> Сравнительная оценка эффективности АЭС с использованием сателлитной турбины.....	141
---	-----

<b>Коновалов Ю.В.</b> Математическое моделирование процесса пуска электродвигателей переменного тока .....	146
<b>Кузнецов П.А., Угаров Г.Г.</b> Оценка функциональной эффективности систем мониторинга воздушных линий электропередачи .....	150
<b>Муромцев Д.Н., Пичхидзе С.Я.</b> Оценка степени диспергирования и гомогенности резиновых смесей на основе этиленпропиленовых каучуков.....	158
<b>Сметанкин Г.П., Бурдюгов А.С., Плохова Т.В., Сербиновский М.Ю.</b> Исследование стабильности характеристик герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов при автоматизированном ускоренном заряде переменным током .....	164
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ</b>	
<b>Асалханов П.Г.</b> Линейные и нелинейные многофакторные модели в задаче прогнозирования сроков агротехнологических операций .....	171
<b>Куранов С.В., Иващенко В.А.</b> Построение АСУ ТП варки стекла на основе <i>UML</i> -технологии .....	177
<b>Куранов С.В., Иващенко В.А., Крайнов О.А.</b> Использование системы нечеткого вывода для повышения точности измерения уровня стекломассы в ванной печи.....	181
<b>Салимов Б.Н.</b> Устройство обработки дорожки качения колец шарикоподшипников с многоточечным контактом .....	185
<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>	
<b>Блюштейн Е.А., Мантуров А.О.</b> Применение предварительной фильтрации проекций в задаче реконструкции теневой дифракционной томограммы.....	189
<b>Глуховская Е.Е., Мантуров А.О.</b> Система защищенной передачи информации на основе неавтономного контура «RL-МДП-ДИОД» с параметрическим нелинейным подмешиванием.....	192
<b>СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА</b>	
<b>Еремина Е.Н.</b> Трансформация классического ордера в архитектуре советского авангарда 1918-1931 гг.....	196
<b>Иващенко Ю.Г., Тимохин Д.К., Страхов А.В.</b> Модифицирующее действие органических добавок на цементные композиционные материалы.....	202
<b>Иноземцев В.К., Иноземцева О.В., Игнатьев А.С.</b> Изгиб двухслойных плит с армирующим слоем из композитного материала.....	205
<b>Страхов А.В., Иващенко Н.А., Кончакова О.А.</b> Способы получения функциональных добавок-модификаторов направленного действия для модифицирования силикат-натриевых композиций .....	212
<b>ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ И КУЛЬТУРОЛОГИЯ</b>	
<b>Алешина М.В.</b> Социальная сплоченность: концептуализация понятия.....	216
<b>Барабوشина Н.В.</b> Трансформационные возможности хронотопа малого города.....	222
<b>Воробьев Р.В.</b> Историко-интенциональный анализ феномена здоровья.....	226
<b>Захарян И.Э.</b> Социальный капитал как концепция исследования современной диаспоры.....	230
<b>Кочелаяевская К.В., Афанасьева В.В.</b> Пространство: относительность неклассических представлений.....	236
<b>Любимова А.Д.</b> Российская монородительская семья: основные современные дискурсы .....	239
<b>Максимова Л.Н.</b> Социальное конструирование профессиональной культуры в современном российском обществе.....	245
<b>Мельникова Н.И.</b> Метрики социальных медиа как социальный капитал .....	253
<b>Ромашов Ю.В.</b> Геополитика России на Балканах и идея славянского единства.....	258
<b>Русанов В.А., Клинаев Ю.В., Замогильный С.И., Дикун Н.А., Санатин В.П.</b> Диффузия тревожности и саморегуляция в нестабильном обществе.....	262
<b>Русанов В.А., Клинаев Ю.В., Замогильный С.И., Дикун Н.А., Санатин В.П.</b> Культура и политика в процессе гармонизации межэтнических отношений .....	268
<b>ЭКОЛОГИЯ</b>	
<b>Михалёв С.Э., Бобырев С.В., Угланов Н.А., Изюмов Ю.А., Тихомирова Е.И.</b> Гидрометрический аппаратно-программный комплекс как основа проверки адекватности гидрологических моделей малых рек .....	277
<b>Чернышев В.В.</b> Оценка экологичности и энергоэффективности шагающего движителя на грунтах с низкой несущей способностью .....	283
<b>ЭКОНОМИКА</b>	
<b>Белкин В.Н., Белкина Н.А., Антонова О.А.</b> Теория и практика оценки коллективного и индивидуального труда.....	288
<b>Кирясов А.С.</b> Формирование эффективной транспортно-логистической системы регионального уровня на основе концепции устойчивого развития.....	299
<b>Кузьмина О.Е.</b> Выявление факторов влияния, а также показатели условий развития деятельности малых предприятий для оценки инновационного потенциала .....	304
<b>Минева О.К.</b> Менеджмент деловой карьеры в современном мире.....	308
<b>Минева О.К., Ходенкова О.П.</b> Компетентностный подход в системе послевузовского образования в парадигме С.Д.И.О. ....	312
<b>Мраморнова О.В.</b> Противоречия развития социально-трудовых отношений в эпоху глобализации .....	316

## CONTENTS

### MATHEMATICS AND MECHANICS

<b>Blinkova A.Yu.</b> Nonlinear waves deformation modelling in physically linear viscoelastic cylindrical shell with viscous incompressible fluid inside.....	7
<b>Vidin Yu.V., Ivanov D.I.</b> Calculation of eigenvalues of the of non-stationary heat transfer problem through a cylindrical wall with the 1 <sup>st</sup> class boundary conditions.....	15
<b>Vigodchikova I.Yu.</b> Mathematical modeling of the system with evenly distributed risks.....	17
<b>Ivanov S.V.</b> Modelling of deformation waves in geometrically and physically cylinder shell with viscous incompressible liquid inside.....	22
<b>Kovaleva I.A.</b> Nonlinear waves dynamics modelling in coaxial physically nonlinear shell containing viscous incompressible fluid between.....	29
<b>Ovchinnikova N.V., Chebotarevsky Yu.V.</b> Application of Lagrange multiplier method to analyse the contact interaction between deformable medium and relatively stiff indenter.....	37

### PHYSICS, RADIOTECHNICS AND ELECTRONICS

<b>Balabolin A.G.</b> Calculation of the 6-12 GHz broadband equalizer.....	44
<b>Zimnyakov D.A., Ushakova O.V., Yuvchenko S.A., Chekmasov S.P., Pototsky I.D., Gorshkov N.V.</b> Fröhlich resonances in hydrated potassium titanate nanoplatelets.....	50
<b>Zorkin A.Ya., Semenov S.V., Bryukhova M.S.</b> Dynamics of the gaseous phase of electronic vacuum devices at pumping.....	56
<b>Okishev Yu.A., Klinaev Yu.V.</b> Development of a mathematical model for the ballistic flight analysis of a spacecraft from low-earth orbit to the libration point L1 of the «Earth-Moon» as the decision of a private limited three-body problem with consideration for the moon orbit.....	62
<b>Rozov A.S., Baiburin V.B.</b> Analysis of regular and chaotic charges trajectories in charged cylindrical beam.....	68
<b>Stankevich N.V., Dvorak A.A., Astakhov V.V.</b> Quasiperiodic oscillations and transitions to hyperchaos in two Toda oscillators with antiphase harmonic force.....	72
<b>Tsarev V.A., Miroshnichenko A.Yu., Chigurov I.O.</b> Investigation of the multi-beam klystron with a two-mode penultimate floating resonator.....	77

### CHEMISTRY AND CHEMICAL TECHNOLOGIES

<b>Bessarabov A.M., Ivanov M.Ya., Kvasyuk A.V., Bessarabov A.M., Ivanov M.Ya., Kvasyuk A.V.</b> CALS-technology for obtaining high purity nanopowders in low-temperature plasm with cryogenic hardening.....	81
<b>Gorokhovskiy A.V., Smirnova O.A., Azarov A.S., Safonov V.V., Tretyachenko E.V., Goffman V.G., Shindrov A.A., Kolbasina T.V.</b> Preparation of synthetic serpentine, optical and tribologic characteristics of oleophobic dispersions.....	85
<b>Ilyin I.A., Yudin A.G., Shatrova N.V., Shevelev A.A., Litovchenko D.I., Mostovoy A.S., Arzamastsev O.S., Ermolenko A.V., Kuznetsov D.V., Burmistrov I.N.</b> Research of the relationship between the structural and mechanical properties of polymer composites filled with dispersed fillers.....	91
<b>Kadykova Yu.A., Ulegin S.V., Farhutdinova E.G., Sotnik V.A.</b> Polymermatrix composite materials based on epoxy matrix of filling dispersive basalts.....	97
<b>Popova S.S., Gots A.E., Makovetskaya Yu.P.</b> Effect of molybdate ions on the electrochemical surface modification of the C <sub>60</sub> titanium in acid solutions.....	100
<b>Poshivalova E.Yu., Gavkina M.S., Astakhov A.S.</b> Study of the properties of lanthanum-containing bio-composite coatings obtained on medical and technical items.....	104
<b>Finaenov A.I., Schpak I.E., Afonina A.W., Zabudkov S.L., Jakovlev A.V.</b> Graphite electrodes in thermo chemical power sources.....	107
<b>Cheremouhina I.V., Stoudentsov B.N., Ibaev M.O., Gilman A.A.</b> Physical treatment application for the reinforced cross-linked polymers technology.....	113

### ENGINEERING AND MACHINE-BUILDING

<b>Martynov V.V., Brovkova M.B., Sviridov S.V.</b> Substantiation and development of algorithm for quality identification of dynamic processes during machining.....	118
<b>Gorbachev V.O., Pogorazdov V.V.</b> Computer-aided tool for forming terminal unclosed elliptic surfaces in constant velocity joints.....	126
<b>Zhuravlev M.M., Reshetnikova O.P., Miroshkin A.G.</b> Laser radiation power effect on the hardness alteration of the tools surface layer.....	130
<b>Manoshin D.V., Nasad T.G.</b> A method for increasing the resistance of the carbide insert to process hard-alloys.....	133
<b>Manoshin D.V., Nasad T.G.</b> Experimental study of the roughness dependence and chip shrinkage on the treatment regime for precision 36HXTIO alloys.....	136

### POWER ENGINEERING AND ELECTRICAL ENGINEERING

<b>Aminov R.Z., Egorov A.N., Yurin V.E.</b> Comparative evaluation of the NPP using the satellite turbine.....	141
<b>Konovalov Yu.V.</b> Mathematical modelling of the start-up process of electric motors with the alternating current.....	146
<b>Kuznetsov P.A., Ugarov G.G.</b> Assessing the functional efficiency of monitoring electricity transmission air-lines... ..	150

<b>Muromtsev D.N., Pichhidze S.Y.</b> Assessment of the dispersion degree and homogeneity of the rubber compounds based on epdm rubber .....	158
<b>Smetankin G.P., Burdyugov A.S., Plokhova T.V., Serbinovskiy M.Y.</b> Research of stability characteristics of the sealed nickel-cadmium accumulators under the automated rapid charge with alternative current .....	164
<b>AUTOMATION AND CONTROL</b>	
<b>Asalkhanov P.G.</b> Linear and nonlinear multiple factor models in the problem of forecasting the terms of agrotechnological operations .....	171
<b>Kuranov S.V., Ivaschenko V.A.</b> Building an automatic control system for glass melting based on UML-technology...	177
<b>Kuranov S.V., Ivaschenko V.A., Krainov O.A.</b> Using fuzzy inference for enhancing the accuracy of glass level measurement in a tank furnace .....	181
<b>Salimov B.N.</b> Ball bearings semi ring race profile processing device with multiple-point contact .....	185
<b>INFORMATION TECHNOLOGIES</b>	
<b>Blushtein E.A., Manturov A.O.</b> Projection pre-filtering approach to problem of shadow diffraction tomogram reconstruction.....	189
<b>Glukhovskaya E.E., Manturov A.O.</b> Secure information transmission system based on nonautonomous RL-MOS diode circuit with paramitrical nonlinear mixing.....	192
<b>CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE</b>	
<b>Eremina E.N.</b> Transformation of the classical order in the architecture of the soviet 1918-1931 avant-garde period..	196
<b>Ivashchenko Yu.G., Timokhin D.K., Strakhov A.V.</b> The modifying effect of organic additives in cement composite materials .....	202
<b>Inozemtsev V.K., Inozemtseva O.V., Ignatyev A.S.</b> Two-layer plate bending with reinforcing layer of composite material .....	205
<b>Strakhov A.V., Ivaschenko N.A., Konchakova O.A.</b> A process for preparation of functional additives with modifier actions for modifying sodium silicate compositions .....	213
<b>PHILOSOPHY, SOCIOLOGY AND CULTUROLOGY</b>	
<b>Aleshina M.V.</b> Social cohesion: concepts conceptualization and social realities .....	216
<b>Baraboshina N.V.</b> Transformational possibilities of small town chronotop .....	222
<b>Vorobyev R.V.</b> A historical and intentional analysis of the health phenomenon .....	226
<b>Zakharyan I.E.</b> Social capital as a concept for the study of modern diaspora .....	230
<b>Kochelaevskaya K.V., Afanasyeva V.V.</b> Space: relativity nonclassical representations .....	236
<b>Lubimova A.D.</b> Russian monoparent family: key discussions .....	240
<b>Maximova L.N.</b> Social development of professional culture in modern russian society .....	245
<b>Melnikova N.I.</b> Social media metrics as the social capital .....	253
<b>Romashov Yu.V.</b> Geopolitics of Russia in the Balkans and the idea of slaviv unity.....	259
<b>Rusanov V.A., Klinayev Yu.V., Zamogilniy S.I., Dikun N.A., Sanatin V.P.</b> Diffusion of anxiety and self-regulation in an unstable society .....	262
<b>Rusanov V.A., Klinayev Y.V., Zamogilniy S.I., Dikun N.A., Sanatin V.P.</b> Culture and politics in the process of harmonization of inter-ethnic relations .....	268
<b>ECOLOGY</b>	
<b>Mikhalev S.E., Bobyrev S.V., Uglanov N.A., Izyumov Yu.A., Tikhomirova E.I.</b> Hydrometric hardware-software complex as basis of check of adequacy of hydrological models of the small rivers .....	277
<b>Chernyshev V.V.</b> Environmental friendliness and energy efficiency of the walking propulsor on soils with low bearing capacity .....	283
<b>ECONOMY</b>	
<b>Belkin V.N., Belkina N.A., Antonova O.A.</b> Theory and practice of collective and individual labour evaluation .....	288
<b>Kiryasov A.S.</b> Forming of effective transport and logistics system of the regional level on the basis of sustainable development concept.....	299
<b>Kuzmina O.E.</b> Identification of influencing factors and indicators of conditions for the development of small enterprises to estimate the innovative potential.....	304
<b>Mineva O.K.</b> Managing the business career in the modern world.....	308
<b>Mineva O.K., Khodenkova O.P.</b> Competence-based approach in the system of postgraduate education within the C.D.I.O. paradigm.....	313
<b>Mramornova O.V.</b> Contradictions of labor relations development in the era of globalization.....	316

## МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 681.03.06:531.383:532.516

А.Ю. Блинкова

### МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН ДЕФОРМАЦИЙ В ФИЗИЧЕСКИ ЛИНЕЙНЫХ ВЯЗКОУПРУГИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКАХ, СОДЕРЖАЩИХ ВЯЗКУЮ НЕСЖИМАЕМУЮ ЖИДКОСТЬ

*Настоящее исследование посвящено анализу распространения нелинейных продольных волн деформаций в цилиндрической оболочке, содержащих вязкую несжимаемую жидкость внутри оболочки. Физические свойства оболочки определяются уравнениями линейной теории вязкоупругости. Наличие жидкости потребовало разработки новой математической модели и компьютерного моделирования процессов, происходящих в рассматриваемой системе.*

Цилиндрическая оболочка, колебания, волны деформации, гидроупругость, вязкая несжимаемая жидкость, солитон

A.Yu. Blinkova

### NONLINEAR WAVES DEFORMATION MODELLING IN PHYSICALLY LINEAR VISCOELASTIC CYLINDRICAL SHELL WITH VISCOUS INCOMPRESSIBLE FLUID INSIDE

*The present study is devoted to the analysis of nonlinear deformation of longitudinal waves in a cylindrical shell containing viscous incompressible fluid inside. The physical properties of the shell are determined by the equations of the linear theory of viscoelasticity. The presence of fluid required working out of a new mathematical model and computer simulation of the processes occurring in the system.*

Cylinder shell, oscillations, deformation waves, hydroelasticity, viscous incompressible liquid, solitary wave

1. Волновые процессы в вязкоупругих и нелинейно вязкоупругих оболочках, не взаимодействующих с вязкой жидкостью, рассмотрены в [1-3].

Получим, уравнения динамики с учётом наличия вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической оболочке с помощью асимптотических методов для решения связанной задачи гидроупругости с соответствующими граничными условиями.

Рассмотрим бесконечно длинную вязкоупругую цилиндрическую оболочку, внутри которой находится вязкая несжимаемая жидкость.

Уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости и уравнение неразрывности в цилиндрической системе координат  $r, \vartheta, x$  записываются в случае осесимметричного течения в виде [4]

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \text{grad} \frac{1}{2} V^2 + \text{rot} \bar{V} \times \bar{V} + \frac{1}{\rho} \text{grad} \cdot p &= -\nu \text{rot} \text{rot} \bar{V}, \\ \text{div} \bar{V} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

На границе с оболочкой выполняются условия прилипания жидкости

$$V_r = -\frac{\partial W}{\partial t}, V_x = \frac{\partial U}{\partial t} \quad \text{при} \quad r = R_1 - W, \quad (2)$$

Здесь  $t$  – время;  $V_r, V_x$  – проекции вектора скорости жидкости на оси цилиндрической системы координат;  $p$  – давление;  $\rho$  – плотность;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости;  $U$  – продольное упругое перемещение оболочек по оси  $x$ ;  $W$  – прогиб, положительный к центру кривизны оболочки;  $R_1$  – внутренний радиус оболочки.

В случае осевой симметрии, используя гипотезу Кирхгофа-Лява, имеем связь между компонентами деформаций  $\varepsilon_x, \varepsilon_y$  перемещениями [5]

$$\varepsilon_x = \frac{\partial U}{\partial x} - z \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U}{\partial x} - z \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial W}{\partial x} \right)^2, \varepsilon_y = -\frac{1}{R} W, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус срединной поверхности оболочки,  $z$  – расстояние от нее. Связь между компонентами напряжений  $\sigma_x, \sigma_y$  и деформаций зададим уравнениями линейной теории вязкоупругости [6], учитывающей линейную упругость объёмных деформаций

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\mu_0^2} (\varepsilon_x + \mu_0 \varepsilon_y) - \frac{E}{1+\mu_0} \alpha \int_{-\infty}^t e^{-\beta(t-\tau)} e_x d\tau, \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu_0^2} (\varepsilon_y + \mu_0 \varepsilon_x) - \frac{E}{1+\mu_0} \alpha \int_{-\infty}^t e^{-\beta(t-\tau)} e_y d\tau. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь  $E$  – модуль Юнга,  $\mu_0$  – коэффициент Пуассона материала оболочек (считая их одинаковыми),  $t$  – время;  $\alpha, \beta$  – параметры вязкоупругости;  $e_x, e_y$  – компоненты девиатора деформаций

$$\varepsilon_u^2 = \frac{4}{3} (\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 - \varepsilon_x \varepsilon_y); \quad e_x = \frac{2}{3} \varepsilon_x - \frac{1}{3} \varepsilon_y, \quad e_y = \frac{2}{3} \varepsilon_y - \frac{1}{3} \varepsilon_x. \quad (5)$$

Разлагая функции  $e_x, e_y$  в ряд Тейлора по степеням  $(t-\tau)$ , при условии  $\beta t \gg 1$  сохраняем два члена разложения из формул (4) получим приближенные уравнения состояния [1-3]

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\mu_0^2} (\varepsilon_x + \mu_0 \varepsilon_y) + p \left[ \frac{2}{3} \varepsilon_x - \frac{1}{3} \varepsilon_y \right], \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\mu_0^2} (\varepsilon_y + \mu_0 \varepsilon_x) + p \left[ \frac{2}{3} \varepsilon_y - \frac{1}{3} \varepsilon_x \right] \end{aligned} \quad (6)$$

где введен оператор  $p$ , такой, что

$$pf = \frac{E}{1+\mu_0} \left( \frac{\alpha}{\beta^2} \frac{\partial}{\partial t} - \frac{\alpha}{\beta} \right) f \quad (7)$$

Вычислим с использованием (6) усилия и моменты по формулам [5]

$$N_x = \int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}} \sigma_x dz, \quad N_y = \int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}} \sigma_y dz, \quad M_x = \int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}} \sigma_x z dz, \quad M_y = \int_{-\frac{h_0}{2}}^{\frac{h_0}{2}} \sigma_y z dz \quad (8)$$

и подставим (8) в систему уравнений динамики оболочек [5]

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} - p_0 h_0 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = -q_x, \quad \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + \frac{1}{R} N_y + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial W}{\partial x} N_x \right) - p_0 h_0 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = -q_n \quad (9)$$

здесь  $h_0$  – толщина оболочки;  $q_x, q_n$  – напряжения, действующие со стороны жидкости на поверхность оболочки, снесенные на невозмущенную поверхность оболочки ( $W \ll R$ )

$$q_x = \left[ \rho v \left( \frac{\partial V_x}{\partial r} + \frac{\partial V_r}{\partial x} \right) \right]_{r=R}, \quad q_n = \left[ -p + 2\rho v \frac{\partial V_r}{\partial r} \right]_{r=R} \quad (10)$$

2. Принимая за характерную длину волны деформации  $l$ , перейдем к безразмерным переменным для исследования уравнений динамики оболочек (3)-(9)

$$W = w_m u_3, \quad U = u_m u_1, \quad t^* = \frac{c_0}{l} t, \quad x^* = \frac{x}{l}, \quad c_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho_0 (1-\mu_0^2)}}. \quad (11)$$

здесь  $c_0$  – скорость звука в материале оболочки.

Положим

$$\begin{aligned} \frac{u_m}{l} &= \varepsilon = o(1), & \frac{w_m}{R} &= O(\varepsilon), & \frac{\alpha}{\beta} &= O(1), \\ \frac{\alpha C_0}{\beta^2 l} &= O(\varepsilon), & \frac{R}{l} &= O(\varepsilon^{1/2}), & \frac{h_0}{R} &= O(\varepsilon), \end{aligned} \quad (12)$$

где  $\varepsilon \ll 1$  – малый параметр задачи.

Применим метод двухмасштабных разложений, вводя независимые переменные в виде



$$\xi = x^* - ct^*, \quad \tau = \varepsilon t^*, \quad (13)$$

где  $c$  – безразмерная неизвестная скорость волны, а зависимые переменные представлены в виде разложения по малому параметру  $\varepsilon$ :

$$u_1 = u_{10} + \varepsilon u_{11} + \dots, \quad u_3 = u_{30} + \varepsilon u_{31} + \dots \quad (14)$$

Подставляя (11), (13), (14) в уравнения (3-9) с учетом оценок (12), получим в нулевом приближении по  $\varepsilon$  линейную систему уравнений, из которой следует связь

$$\frac{w_m}{R} u_{30} = \mu_1 \frac{u_m}{l} \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi}, \quad \mu_1 = \frac{\mu_0 + \frac{1}{3}(1 - \mu_0) \frac{\alpha}{\beta}}{1 - \frac{2}{3}(1 - \mu_0) \frac{\alpha}{\beta}} \quad (15)$$

и определяется безразмерная скорость волны

$$c^2 = \left[1 - \frac{2}{3}(1 - \mu_0) \frac{\alpha}{\beta}\right] (1 - \mu_1^2). \quad (16)$$

Из следующего приближения по  $\varepsilon$ , учитывая (15) и (16), находятся уравнения для определения  $u_{10}$ :

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi \partial \tau} + \mu_1^2 \frac{c}{2} \frac{R^2}{l^2 \varepsilon} \frac{\partial^4 u_{10}}{\partial \xi^4} + \frac{c}{2} \frac{u_m}{l \varepsilon} \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} - \\ & - \frac{1}{3} (1 - \mu_0) \frac{\alpha}{\beta^2} \frac{c_0}{l \varepsilon} (1 + \mu_1 + \mu_1^2) \frac{\partial^3 u_{10}}{\partial \xi^3} = - \frac{l^2}{\varepsilon u_m \rho_0 h_0 c_0^2 2c} [q_x - \mu_1 \frac{R}{e} \frac{\partial q_n}{\partial \xi}] \end{aligned} \quad (17)$$

3. Для определения правой части уравнения (17) введем безразмерные переменные и параметры

$$\begin{aligned} V_r &= w_m \frac{c_0}{l} v_r, \quad V_x = w_m \frac{c_0}{R_1} v_x, \quad r^* = \frac{r}{R}, \quad t^* = \frac{c_0}{l} t, \quad x^* = \frac{x}{l}, \quad p = \frac{\rho v c_0 l w_m}{R_1^3} P; \\ \psi &= \frac{R_1}{l} = o(\varepsilon^{\frac{1}{2}}), \quad \lambda = \frac{w_m}{R_1}, \\ \psi &\ll 1, \quad \lambda \ll 1. \end{aligned} \quad (18)$$

Подставляя (18) в уравнения гидродинамики (1) и граничные условия (2), представим безразмерные скорость и давление в виде разложения по малому параметру  $\lambda$ :

$$v_x = v_x^0 + \lambda v_x^1 + \dots, \quad v_r = v_r^0 + \lambda v_r^1 + \dots, \quad P = P^0 + \lambda P^1 + \dots \quad (19)$$

В нулевом приближении по  $\psi$  ( $\psi \approx 0$  – гидравлическая теория смазки), считая  $(\psi)(R_1 c_0 / \nu) \ll 1$  (ползущие течения [6, 7]), и в нулевом приближении по  $\lambda$  получаем уравнения гидродинамики (классические уравнения гидродинамической теории смазки)

$$\frac{\partial P^0}{\partial r^*} = 0, \quad \frac{\partial P^0}{\partial x} = \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} (r^* \frac{\partial v_x^0}{\partial r^*}), \quad \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} (r^* v_r^0) + \frac{\partial v_x^0}{\partial x} = 0 \quad (20)$$

и граничные условия

$$\begin{aligned} r^* \frac{\partial v_x^0}{\partial r^*} &= 0, \quad r^* \frac{\partial v_r^0}{\partial r^*} = 0 & \text{при } r^* = 0, \\ v_r^0 &= -\frac{\partial u_{30}}{\partial t^*}, \quad v_x^0 = \frac{u_m R_1}{w_m l} \frac{\partial u_{10}}{\partial t^*} & \text{при } r^* = 1. \end{aligned} \quad (21)$$

Из решения задачи (20), (21) следует, что

$$\begin{aligned} P^0 &= 16 \int \left[ \frac{1}{2} \frac{u_m R_1}{w_m l} \frac{\partial u_{10}}{\partial t^*} - \int \frac{\partial u_{30}}{\partial t^*} dx^* \right] dx^*, \\ \frac{\partial v_x^0}{\partial r^*} &= \frac{1}{2} r^* \frac{\partial P_0}{\partial x}. \end{aligned} \quad (22)$$

С принятой точностью по  $\varepsilon, \psi, \lambda$  из (5) найдем

$$q_x = \rho v \frac{w_m c_0}{R_1^2} \frac{\partial v_x^0}{\partial r^*} \Big|_{r^*=1}, \quad q_n = -\rho v \frac{w_m c_0}{R_1^2} \frac{l}{R_1} P^0,$$

и выражение в квадратных скобках правой части (22) имеет вид

$$[q_x - \mu_1 \frac{R}{l} \frac{\partial q_n}{\partial \varepsilon}] = \rho v \frac{w_m c_0}{R_1^2} [(\frac{\partial v_x^0}{\partial r^*})_{r^*=1} + \mu_1 \frac{R}{l} \frac{l}{R_1} \frac{\partial P^0}{\partial x^*}] = \rho v \frac{w_m c_0}{R_1^2} \frac{1}{2} \frac{\partial P^0}{\partial \xi} [1 + 2\mu_1 \frac{R}{R_1}] \quad (23)$$

Учитывая, что были введены переменные (13), (14) и имея соотношения (15) (16), имеем

$$P^0 = 8c \frac{u_m R_1}{w_m l} [2\mu_1 \frac{R}{R_1} - 1] u_{10}, c = \sqrt{[1 - \frac{2}{3}(1 - \mu_0) \frac{\alpha}{\beta}](1 - \mu_1^2)}. \quad (24)$$

Следовательно, в правой части уравнения (17) остается выражение

$$2 \frac{\rho l v}{\rho_0 h_0 R_1 c_0 \varepsilon} [1 - (2\mu_1 \frac{R}{R_1})^2] \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi}, \quad (25)$$

с принятой точностью по  $\psi, \varepsilon$  положим  $R_1 \approx R$ .

Подставляя (23) в уравнение (17), окончательно получим

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi \partial \tau} + \frac{u_m c}{l \varepsilon} \frac{\partial u_{10}}{2} \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\varepsilon} (\frac{R}{l})^2 \mu_1^2 \frac{c}{2} \frac{\partial^4 u_{10}}{\partial \xi^4} - \\ & - \frac{1}{3} \frac{\alpha}{\beta^2} \frac{c_0}{l \varepsilon} (1 - \mu_0)(1 + \mu_1 + \mu_1^2) \frac{\partial^3 u_{10}}{\partial \xi^3} - 2[1 - (2\mu_1)^2] \frac{\rho l v}{\rho_0 h_0 R_1 c_0 \varepsilon} \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} = 0. \end{aligned} \quad (26)$$

При отсутствии жидкости ( $\rho = 0$ ) последнее слагаемое выпадает и уравнение превращается в уравнения Кортевега-де Вриза-Бюргерса, (КдВ-Б) для  $\frac{\partial u_{10}}{\partial \xi}$ , имеющие точное частное решение. В

зависимости от физических параметров величина  $\mu_1$  может быть больше  $\frac{1}{2}$ , меньше  $\frac{1}{2}$  или равна  $\frac{1}{2}$ .

Последний случай эквивалентен отсутствию жидкости, но означает, что она не влияет на волну деформации.

Легко видеть, что замена

$$\frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} = c_3 \varphi, \quad \eta = c_1 \xi, \quad t = c_2 \tau \quad (27)$$

позволяет записать уравнение (26) в виде

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + 6\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} + \frac{\partial^3 \varphi}{\partial \eta^3} - \sigma_2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \eta^2} - \sigma \varphi = 0. \quad (28)$$

здесь  $\sigma = 1$  при  $\mu_1 < \frac{1}{2}$ ,  $\sigma = -1$  при  $\mu_1 > \frac{1}{2}$  и  $\sigma = 0$  при  $\mu_1 = \frac{1}{2}$ .

Постоянные  $c_3, c_1, c_2$  определяются формулами

$$c_2 = 2\sigma [1 - (2\mu_1)^2] \frac{\rho l v}{\rho_0 h_0 R_1 c_0 \varepsilon}, c_1 = \left[ c_2 \varepsilon \left( \frac{l}{R} \right)^2 \frac{2}{c \mu_1^2} \right]^{1/3}, c_3 = 6 \frac{c_2}{c_1} \frac{2l \varepsilon}{c u_m}.$$

При этом вводятся обозначения

$$\sigma_2 = c_1^2 \frac{1}{3} \frac{\alpha}{\beta^2} \frac{c_0}{l \varepsilon} (1 - \mu_0)(1 + \mu_1 + \mu_1^2). \quad (29)$$

4. Запишем уравнение (28) в интегральной форме

$$\oint_{\partial \Omega} (-3\varphi^2 - \varphi_{\eta\eta} + \sigma_2 \varphi_{\eta}) dt + \varphi d\eta - \iint_{\Omega} \sigma \varphi dt d\eta = 0 \quad (30)$$

для любой области  $\Omega$ . Для перехода к дискретной формулировке сопоставим  $u_j^n = \varphi(t_n, \eta_j)$  и выберем в качестве базового контур, показанный на рис. 2.

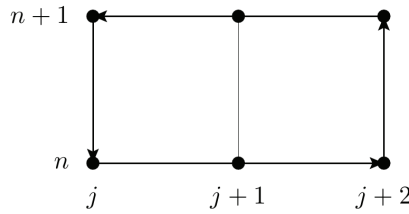


Рис. 1. Базовый контур для уравнения (28)

Добавим интегральные соотношения

$$\int_{\eta_j}^{\eta_{j+1}} u_{\eta} d\eta = u(t, \eta_{j+1}) - u(t, \eta_j), \tag{31}$$

$$\int_{\eta_j}^{\eta_{j+1}} u_{\eta\eta} d\eta = u_{\eta}(t, \eta_{j+1}) - u_{\eta}(t, \eta_j).$$

Используя для интегрирования по времени и по четным производным по  $\eta$  формулу трапеций, а по нечетным производным по  $\eta$  формулу среднего значения, и полагая  $t_{n+1} - t_n = \tau$ ,  $\eta_{j+1} - \eta_j = h$ , перепишем соотношения (30), (31) в виде

$$\begin{aligned} & \left( -3(u_{\eta_j}^{2n} + u_{\eta_j}^{2n+1} - u_{\eta_{j+2}}^{2n} - u_{\eta_{j+2}}^{2n+1}) - (u_{\eta\eta_j}^n + u_{\eta\eta_j}^{n+1} - u_{\eta\eta_{j+2}}^n - u_{\eta\eta_{j+2}}^{n+1}) + \right. \\ & \left. + \sigma_2(u_{\eta_j}^n + u_{\eta_j}^{n+1} - u_{\eta_{j+2}}^n - u_{\eta_{j+2}}^{n+1}) \right) \cdot \frac{\tau}{2} + (u_{j+1}^{n+1} - u_{j+1}^n) \cdot 2h - \sigma(u_{j+1}^{n+1} + u_{j+1}^n) \cdot h\tau = 0, \tag{32} \\ & (u_{\eta_{j+1}}^n + u_{\eta_j}^n) \cdot \frac{h}{2} = u_{j+1}^n - u_j^n, \\ & u_{\eta\eta_{j+1}}^n \cdot 2h = u_{\eta_{j+2}}^n - u_{\eta_j}^n. \end{aligned}$$

В результате разностная схема для уравнения (28) определяется как условие совместности для данной системы разностных уравнений (32). Таким образом, получается разностная схема [9, 10, 11], автоматически обеспечивающая выполнение интегральных законов сохранения по областям, составленным из базовых конечных объемов.

Для построения разностной схемой воспользуемся приведенной ниже программой, написанной на языке системы компьютерной алгебры Singular [12].

```
ring r = (0, h, tau, sigma2, sigma), (Tx, Tt), (c, dp);
// u_xx, u_x, u, 3u^2
vector eq1 = [-(1+Tt-Tx^2-Tt*Tx^2)*tau/2, sigma2*(1+Tt-Tx^2-Tt*Tx^2)*tau/2,
(1-Tt)*2*h - sigma*(1+Tt)*h*tau, -(1+Tt-Tx^2-Tt*Tx^2)*tau/2];
vector eq2 = [0, (Tx+1)*h/2, -(Tx-1), 0];
vector eq3 = [Tx*2*h, -(Tx^2-1), 0, 0];
module m = eq1, eq2, eq3;
std(m);
```

В первой строке программы описан полиномиальный модуль с переменными  $Tx, Tt$  с исключаящим по позиции упорядочением над кольцом рациональных чисел с параметрами  $h, tau, sigma2, sigma$ . Как видно из следующего комментария программы, первой позиции соответствует функция  $u_{xx}$ , а затем по порядку  $u_x, u, 3u^2$ . Переменные  $Tx, Tt$  соответствуют операторам сдвига по переменным  $\eta$  и  $t$ . За счет выбора исключаящим по позиции упорядочения нелинейная часть  $3u^2$  не будет входить в лидирующие мономы системы при построении базиса Грёбнера командой  $std(m)$ . В приведенном ниже результате вычислений первый элемент базиса Грёбнера представляет собой искомую разностную схему для уравнения (28), аналогичную схеме Кранка-Николсона для уравнения теплопроводности.

$$\begin{aligned} \_ [1] = & [0, 0, (\tau) * Tx^4 * Tt + (\tau) * Tx^4 + (-2 * h * \tau * \sigma_2 - 2 * \tau) * Tx^3 * Tt + \\ & (-2 * h * \tau * \sigma_2 - 2 * \tau) * Tx^3 + (4 * h * \tau * \sigma_2) * Tx^2 * Tt + \\ & (4 * h * \tau * \sigma_2) * Tx^2 + (-2 * h^3 * \tau * \sigma - 4 * h^3 - 2 * h * \tau * \sigma_2 + \\ & 2 * \tau) * Tx * Tt + (-2 * h^3 * \tau * \sigma + 4 * h^3 - 2 * h * \tau * \sigma_2 + 2 * \tau) * Tx + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (-\tau) * Tt + (-\tau), (h^2 * \tau) * Tx^3 * Tt + (h^2 * \tau) * Tx^3 + (-h^2 * \tau) * Tx * Tt + \\
 & (-h^2 * \tau) * Tx \\
 \_ [2] & = [0, (h) * Tx + (h), -2 * Tx + 2] \\
 \_ [3] & = [(-2 * h * \tau) * Tt + (-2 * h * \tau), (\tau) * Tx^3 * Tt + (\tau) * Tx^3 \\
 & + (-2 * h * \tau * \sigma_2) * Tx^2 * Tt + (-2 * h * \tau * \sigma_2) * Tx^2 + (-\tau) * Tx * Tt + \\
 & (-\tau) * Tx + (2 * h * \tau * \sigma_2) * Tt + (2 * h * \tau * \sigma_2), \\
 & (-4 * h^2 * \tau * \sigma_2 - 8 * h^2) * Tt + (-4 * h^2 * \tau * \sigma_2 + 8 * h^2), \\
 & (2 * h * \tau) * Tx^2 * Tt + (2 * h * \tau) * Tx^2 + (-2 * h * \tau) * Tt + (-2 * h * \tau)] \\
 \_ [4] & = [(2 * h) * Tx, -Tx^2 + 1]
 \end{aligned}$$

Перепишем полученную разностную схему в обычных обозначениях

$$\begin{aligned}
 & \frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\tau} + 3 \frac{(u_{j+1}^{2n+1} - u_{j-1}^{2n+1}) + (u_{j+1}^{2n} - u_{j-1}^{2n})}{4h} + \\
 & + \frac{(u_{j+2}^{n+1} - 2u_{j+1}^{n+1} + 2u_{j-1}^{n+1} - u_{j-2}^{n+1}) + (u_{j+2}^n - 2u_{j+1}^n + 2u_{j-1}^n - u_{j-2}^n)}{4h^3} - \\
 & - \sigma_2 \frac{(u_{j+1}^{n+1} - 2u_j^{n+1} + u_{j-1}^{n+1}) + (u_{j+1}^n - 2u_j^n + u_{j-1}^n)}{2h^2} - \sigma \frac{u_j^{n+1} + u_j^n}{2} = 0.
 \end{aligned} \tag{33}$$

Для определения свойств полученной разностной схемы (33) построим ее 1-е дифференциальное приближение [13]

$$\begin{aligned}
 u_t + 6\mu u_{\eta} + u_{\eta\eta\eta} - \sigma_2 u_{\eta\eta} - \sigma u = & (1/12)\tau^2 \sigma^3 u + (-108\tau^2 u u_{\eta}^2 + 36\tau^2 u \sigma u_{\eta} - (7/2)\tau^2 u \sigma^2) u_{\eta} + \\
 & + ((-99\tau^2 u_{\eta} + 6\tau^2(\sigma + 6\sigma_2 u)) u_{\eta\eta} + (54\tau^2 \sigma_2 u_{\eta}^2 + (-162\tau^2 u^2 - 3h^2 - (17/2)\tau^2 \sigma_2 \sigma) u_{\eta} + \\
 & + (1/4)\tau^2 \sigma(\sigma_2 \sigma + 72u^2)) u_{\eta\eta\eta} + (27/2\tau^2 \sigma_2 u_{\eta\eta\eta} + (-\tau^2(99u + 8\sigma_2^2)) u_{\eta\eta} - 81\tau^2 u_{\eta}^2 + \\
 & + 3/2\tau^2(36\sigma_2 u + 7\sigma) u_{\eta} - h^2 u - 1/4\tau^2 \sigma^2 - 9/2\tau^2 \sigma_2 u \sigma - 18\tau^2(u)^3) u_{\eta\eta\eta\eta} + \\
 & + (-21\tau^2 u_{\eta\eta\eta} + 21\tau^2 \sigma_2 u_{\eta\eta} - (9/2)\tau^2(\sigma_2^2 + 14u) u_{\eta} + 9\tau^2 \sigma_2 u^2 + \\
 & + (1/4)\tau^2 \sigma_2^2 \sigma + (9/2)\tau^2 u \sigma + (1/12)h^2 \sigma_2) u_{\eta\eta\eta\eta\eta} + (-3/2)\tau^2 \sigma_2^2 u - (1/4)h^2 - \\
 & - (1/2)\tau^2 \sigma_2 \sigma - 9\tau^2 u^2 + (21/2)\tau^2 \sigma_2 u_{\eta} - (27/2)\tau^2 u_{\eta\eta}) u_{\eta\eta\eta\eta\eta} + \\
 & + (-6\tau^2 u_{\eta} + (1/12)\tau^2(36\sigma_2 u + 3\sigma + \sigma_2^3)) u_{\eta\eta\eta\eta\eta\eta} - \\
 & - (1/4)\tau^2(6u + \sigma_2^2) u_{\eta\eta\eta\eta\eta\eta\eta} + 1/4\tau^2 \sigma_2 u_{\eta\eta\eta\eta\eta\eta\eta\eta} - (1/12)\tau^2 u_{\eta\eta\eta\eta\eta\eta\eta\eta\eta}
 \end{aligned}$$

Из построенного 1-го дифференциального приближения видно, что при достаточно малом шаге по времени  $\tau$  разностная схема (33) хорошо аппроксимирует уравнение (28).

5. Полученная неявная разностная схема имеет квадратичную нелинейность для следующего временного слоя. При построении ее решения методом простой итерации использована следующая линеаризация:

$$v_{k+1}^2 = v_{k+1}^2 - v_k^2 + v_k^2 = (v_{k+1} - v_k)(v_{k+1} + v_k) + v_k^2 \approx v_{k+1} \cdot 2v_k - v_k^2.$$

В качестве начального условия при решении задачи Коши для уравнения (28) можно выбрать следующее точное решение уравнения при  $\sigma = 0$ .

$$\varphi = \frac{5}{3} \frac{\omega}{\sigma_2} + \frac{1}{50} \sigma_2^2 - \frac{1}{25} \sigma_2^2 \tanh(\theta) - \frac{1}{50} \sigma_2^2 \tanh^2(\theta), \quad \theta = \frac{1}{10} \sigma_2 x - \omega t \tag{34}$$

Шаг по времени  $t$  брался равным половине шага по переменной  $\eta$ . Программа расчета написана на языке Python с использованием пакета SciPy [14].

Результаты проведенного компьютерного моделирования представлены на рис. 2-4. Наличие жидкости в оболочке приводит к существенному изменению характера распространения в ней продольных волн деформаций. Если в оболочке нет жидкости (эквивалентно условию  $\sigma = 0$ ), уединенная волна (имеет структуру ударной волны) движется, сохраняя свою первоначальную форму и скорость (см. рис. 2).

Наличие жидкости в оболочке при  $\sigma = 1$  ведет к росту амплитуды волны (см. рис. 3). Таким образом, можно утверждать, что при  $\mu_1 < \frac{1}{2}$  жидкость способствует постоянной дополнительной

«подпитке» энергией (из источника первоначального возбуждения), обеспечивающей рост амплитуды.

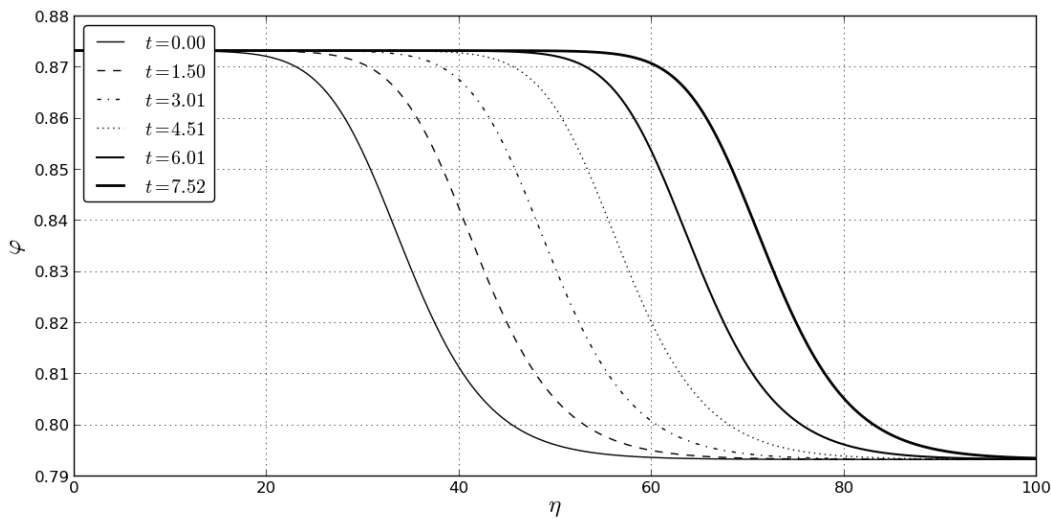


Рис. 2. График численного решения уравнения (28) с начальным условием (7) при  $\sigma = 0.0$ ,  $\sigma_2 = 1.0$ ,  $\omega = 0.5$  и для  $t = 0.0 \dots 7.52$

Наличие жидкости в оболочке при  $\sigma = -1$  ведет к быстрому уменьшению амплитуды волны, то есть к её затуханию (см. рис. 4). Для поддержки процесса распространения волны при  $\mu_1 > \frac{1}{2}$  необходимо периодическое её возбуждение.

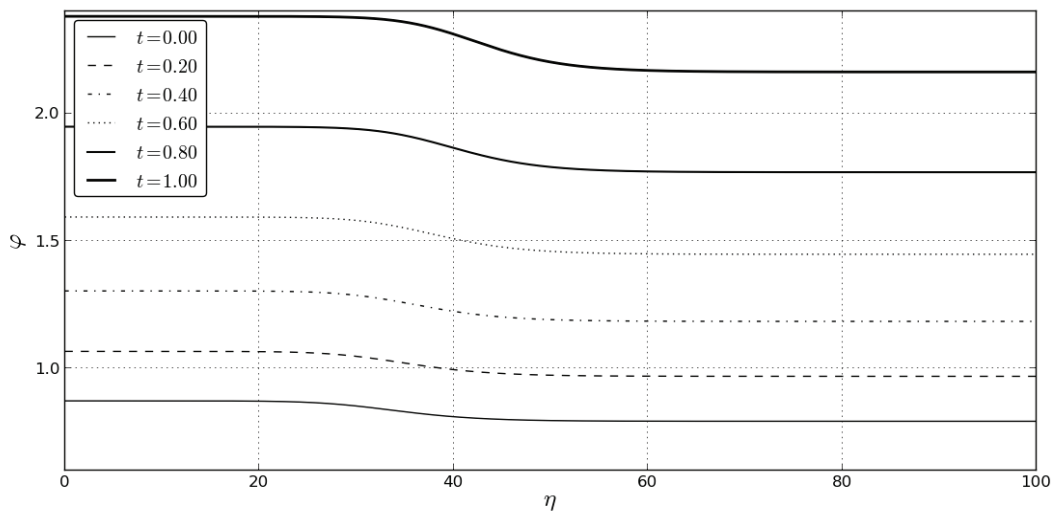


Рис. 3. График численного решения уравнения (28) с начальным условием (7) при  $\sigma = 1.0$ ,  $\sigma_2 = 1.0$ ,  $\omega = 0.5$  и для  $t = 0.0 \dots 1.00$

**Заключение**

Проведенное моделирование с использованием компьютерной алгебры позволило выявить особенности поведения волн в физически линейных вязкоупругих цилиндрических оболочках, содержащей вязкую несжимаемую жидкость.

Использование базиса Грёбнера для генерации разностной схемы при численном решении задачи Коши для нелинейного уравнения в частных производных третьего порядка по пространственной переменной позволило получить результат расчета без осцилляций, вызываемых численной реализацией. Численная схема также была протестирована на точном решении для  $\sigma = 0$  (см. рис. 2).

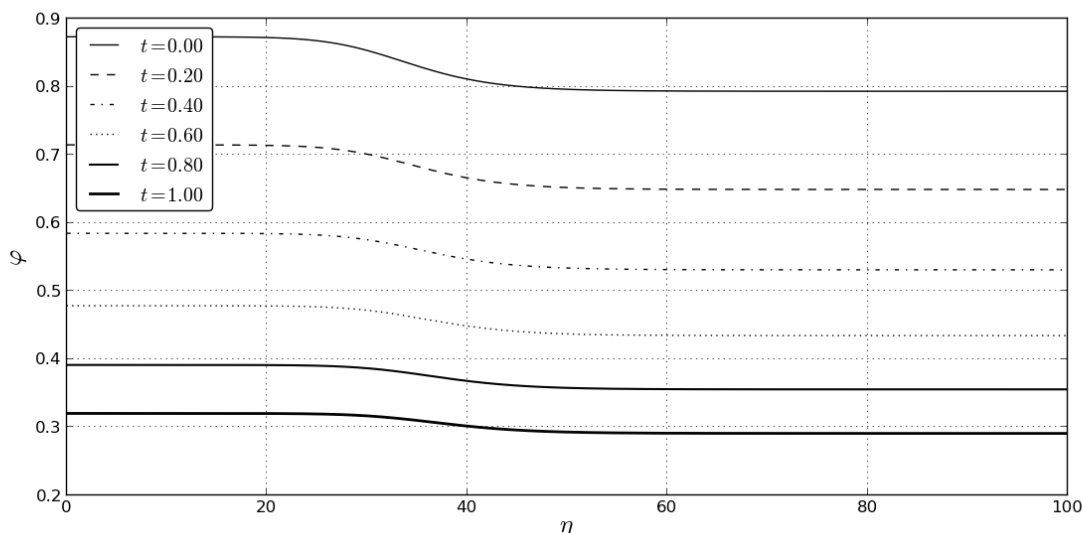


Рис. 4. График численного решения уравнения (28) с начальным условием (7) при  $\sigma = -1.0$ ,  $\sigma_2 = 1.0$ ,  $\omega = 0.5$  и для  $t = 0.0 \dots 1.00$

Полученный расчет показал влияние вязкой несжимаемой жидкости на поведение нелинейной волны деформации в оболочке в зависимости от величины  $\mu_1$ , характеризующей материал оболочки: рост амплитуды волны для  $\mu_1 < \frac{1}{2}$ , падения амплитуды волны для  $\mu_1 > \frac{1}{2}$ , отсутствие влияния жидкости для  $\mu_1 = \frac{1}{2}$ . За счет рассеяния энергии в вязкоупругом материале оболочки происходит сглаживание профиля волны деформации (см. рис. 3, 4).

В заключение приношу благодарность профессору Л.И. Могилевичу за постановку задачи и внимание к работе.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-01-00049а и Гранта Президента РФ № МД-1025.2012.8

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Землянухин А.И. Нелинейные волны в цилиндрических оболочках: солитоны, симметрии, эволюция / А.И. Землянухин, Л.И. Могилевич. Саратов: СГТУ, 1999. 132 с.
2. Аршинов Г.А. Двумерные уединенные волны в нелинейной вязкоупругой деформируемой среде / Г.А. Аршинов, А.И. Землянухин, Л.И. Могилевич // РАН. Акустический журнал. 2000. Т. 46. № 1. С. 116-117
3. Аршинов Г.А. Статические и динамические задачи вязкоупругости / Г.А. Аршинов, Л.И. Могилевич. Саратов: Сарат. гос. агр. ун-т, 2000. 152 с
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. М.: Дрофа, 2003. 840 с.
5. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек / А.С. Вольмир. М.: Наука, 1972. 432 с.
6. Москвитин В.В. Сопротивление вязко-упругих материалов / В.В. Москвитин. М.: Наука, 1972. 328 с.
7. Чивилихин С.А. Динамика скручивающихся нанотрубок в вязкой жидкости / С.А. Чивилихин, И.Ю. Попов, В.В. Гусаров // Доклады РАН. 2007. Т. 412. № 2. С. 201-203.
8. Солитоны в стенке нанотрубки и стоково течение в ней / Ю.И. Попов, О.А. Розыгина, С.А. Чивилихин, В.В. Гусаров // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. Вып. 18. С. 42-54.
9. Блинков Ю.А. Генерация разностных схем для уравнения Бюргерса построением базисов Грёбнера / Ю.А. Блинков, В.В. Мозжилкин // Программирование. 2006. Т. 32. № 2. С. 71-74.
10. Gerdt V.P. Gröbner bases and generation of difference schemes for partial differential equations / V.P. Gerdt, Yu.A. Blinkov, V.V. Mozhilkin // Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications. 2006. Vol. 2. P. 26. <http://www.emis.de/journals/SIGMA/2006/Paper051/index.html>.

11. Gerdt V.P. Involution and difference schemes for the Navier-Stokes equations / V.P. Gerdt, Yu.A. Blinkov // Computer Algebra in Scientific Computing. Springer. Berlin: Heidelberg, 2009. Vol. 5743 of Lecture Notes in Computer Science. P. 94-105.
12. Singular. <http://www.singular.uni-kl.de/>
13. Шокин Ю.И. Метод дифференциального приближения. Применение к газовой динамике / Ю.И. Шокин, Н.Н. Яненко. Новосибирск: Наука, 1985. 363 с.
14. SciPy. <http://www.scipy.org/>

**Блинкова Анастасия Юрьевна** – аспирант кафедры «Теплогоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Anastasiya Yu. Blinkova** – Postgraduate Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 03.08.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 536.24

**Ю.В. Видин, Д.И. Иванов**

### **РАСЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ЧИСЕЛ В ЗАДАЧЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ СТЕНКУ ПРИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ 1-ГО РОДА**

*С использованием аналитических зависимостей разработан аналитический приближенный метод расчета собственных чисел в задаче нестационарной теплопередачи через цилиндрическую стенку при граничных условиях первого рода. Показано, что высокая точность расчета может быть достигнута с помощью доступных математических преобразований, т.е. не прибегая к сложным специальным функциям Бесселя.*

Теплопередача, нестационарный процесс, цилиндрическая стенка, температурное поле, аналитический метод

**Yu.V. Vidin, D.I. Ivanov**

### **CALCULATION OF EIGENVALUES OF THE OF NON-STATIONARY HEAT TRANSFER PROBLEM THROUGH A CYLINDRICAL WALL WITH THE 1-ST CLASS BOUNDARY CONDITIONS**

*Using analytical dependences of the developed analytical approximate method for calculating the eigenvalues of the non-stationary heat transfer problem through a cylindrical wall with boundary conditions of the first class. It is shown that high accuracy of calculation can be achieved using the available mathematical transformations, i.e., without reference to complex special Bessel functions.*

Heat transfer, non-stationary process, cylindrical wall, temperature field, analytical method

Аналитический расчет процесса нестационарной теплопередачи через цилиндрическую стенку связан с задачей нахождения собственных чисел на основе сложного характеристического уравнения [1]

$$\frac{Bi_1 J_0(\mu) + \mu J_1(\mu)}{Bi_1 Y_0(\mu) + \mu Y_1(\mu)} = \frac{Bi_2 J_0(\psi^* \mu) - \mu J_1(\psi^* \mu)}{Bi_2 Y_0(\psi^* \mu) - \mu Y_1(\psi^* \mu)}, \quad (1)$$

где  $Bi_1 = \alpha_1 R_1 / \lambda$ ,  $Bi_2 = \alpha_2 R_2 / \lambda$  – безразмерные числа подобия (числа Био);  $\psi = r / R_1$  – безразмерная радиальная координата ( $1 \leq \psi \leq \psi^*$ );  $\psi^* = R_2 / R_1$ .

В связи с большим числом параметров в зависимости (1) составить таблицу корней весьма затруднительно.

Поэтому первоначально имеет смысл установить возможные пределы для искомым чисел  $\mu_n$ . С этой целью рассмотрим частный случай уравнения (1), а именно примем, что  $V_{i1} \rightarrow \infty$  и  $V_{i2} \rightarrow \infty$ , т.е. на внутренней и внешней поверхностях полого цилиндрического тела действуют граничные условия первого рода. Тогда формула (1) вырождается в соотношение

$$\frac{J_0(\mu)}{Y_0(\mu)} = \frac{J_0(\psi^* \mu)}{Y_0(\psi^* \mu)}. \quad (2)$$

Если предположить, что искомые корни  $\mu_n \geq 3$ , то допустимо аппроксимировать функции Бесселя  $J_0(\mu)$ ,  $Y_0(\mu)$ ,  $J_0(\psi^* \mu)$  и  $Y_0(\psi^* \mu)$  следующими приближениями [2]:

$$J_0(\mu) = \frac{1}{\sqrt{\mu}} f_0 \cos \theta_0, \quad (3)$$

$$Y_0(\mu) = \frac{1}{\sqrt{\mu}} f_0 \sin \theta_0, \quad (4)$$

где  $\theta_0$  описывается выражением

$$\begin{aligned} \theta_0 = & \mu - 0,78539816 - 0,04166392 \left( \frac{3}{\mu} \right) - 0,00003954 \left( \frac{3}{\mu} \right)^2 + \\ & + 0,00262573 \left( \frac{3}{\mu} \right)^3 - 0,00054125 \left( \frac{3}{\mu} \right)^4 - 0,00029333 \left( \frac{3}{\mu} \right)^5 + \\ & + 0,0001358 \left( \frac{3}{\mu} \right)^6 + \varepsilon, \end{aligned} \quad (5)$$

$$|\varepsilon| < 7 \cdot 10^{-8},$$

$$J_0(\psi^* \mu) = \frac{1}{\sqrt{\psi^* \mu}} f_0^* \cos \theta_0^*, \quad (6)$$

$$Y_0(\psi^* \mu) = \frac{1}{\sqrt{\psi^* \mu}} f_0^* \sin \theta_0^*, \quad (7)$$

В зависимостях (6) и (7) величины  $\theta_0^*$  рассчитываются по формуле, аналогичной (5), в которой необходимо только  $\mu$  заменить на комплекс  $\psi^* \mu$ .

С учетом (3), (4), (6) и (7) уравнение (2) запишется в виде

$$\frac{\cos \theta_0}{\sin \theta_0} = \frac{\cos \theta_0^*}{\sin \theta_0^*}, \quad (8)$$

Согласно [3], зависимость (8) эквивалентна выражению

$$\sin(\theta_0^* - \theta_0) = 0, \quad (9)$$

Отсюда вытекает, что

$$\theta_0^* - \theta_0 = n\pi, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

Подставив в (10) вместо  $\theta_0$  соотношение (5) и аналогичное для  $\theta_0^*$  и ограничиваясь в них первыми тремя слагаемыми, составим квадратное уравнение для вычисления  $\mu_n$

$$\mu_n^2 - \frac{n\pi}{\psi^* - 1} \mu_n + \frac{0,125}{\psi^*} = 0, \quad (11)$$

Решая это уравнение, находим

$$\mu_n = \frac{n\pi}{2(\psi^* - 1)} + \sqrt{\frac{n^2 \pi^2}{4(\psi^* - 1)^2} - \frac{0,125}{\psi^*}}, \quad (12)$$

В таблице приведены значения первых трех собственных чисел  $\mu_n$  для  $\psi^*=1,1$ ;  $\psi^*=1,2$   $\psi^*=1,5$ ;  $\psi^*=2,0$ , рассчитанные по описанной выше методике и приведенные в [2].



Таблица 1

Корни характеристического уравнения  $\mu_n$ 

$\mu_1$		$\mu_2$		$\mu_3$	
Расчет по методике [2]	Расчет по формуле (12)	Расчет по методике [2]	Расчет по формуле (12)	Расчет по методике [2]	Расчет по формуле (12)
$\psi^*=1,1$					
31,41232	31,41231	62,83004	62,83004	94,24657	94,24657
$\psi^*=1,2$					
15,70136	15,70133	31,41261	31,41261	47,12168	47,12168
$\psi^*=1,5$					
6,26998	6,26989	12,55978	12,55974	18,84515	18,84513
$\psi^*=2,0$					
3,12303	3,12157	6,27344	6,27322	9,41821	9,41814

Из таблицы видно, что расхождение проявляется лишь в 3-м знаке после запятой, даже для собственных чисел  $\mu$ , близких к 3.

В статье показано, что высокая точность расчета собственных чисел в задаче нестационарной теплопередачи через цилиндрическую стенку при граничных условиях первого рода на внешней и внутренней поверхностях цилиндрического тела может быть достигнута с помощью приближенного решения поставленной задачи. При этом точность расчета повышается с уменьшением толщины стенки рассматриваемого цилиндра (с уменьшением параметра  $\psi^*$ ) и увеличением порядкового номера корня характеристического уравнения  $\mu_n$ .

Процесс нахождения собственных чисел упрощается за счет:

- 1) уменьшения числа параметров в уравнении;
- 2) использования вместо сложных Бесселевых функций известного приближения [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. М.: Высш. шк., 1967. 600 с.
2. Абрамовиц М. Справочник по специальным функциям / М. Абрамовиц, И. Стиган. М.: Наука, 1979. 832 с.
3. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. М.: Наука, 1965. 608 с.

**Видин Юрий Владимирович** –  
кандидат технических наук, профессор кафедры  
«Теплотехника и гидрогазодинамика»  
Сибирского Федерального университета

**Yury V. Vidin** –  
Ph. D., Professor  
of the Department Heat Engineering and  
Fluid Dinamics  
Siberian Federal University

**Иванов Дмитрий Иванович** –  
аспирант кафедры  
«Теплотехника и гидрогазодинамика»  
Сибирского Федерального университета

**Dmitry I. Ivanov** –  
Postgraduate  
of the Department Heat Engineering and  
Fluid Dinamics  
Siberian Federal University

*Статья поступила в редакцию 12.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 517.518.826

**И.Ю. Выгодчикова**

#### **О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЁННЫМИ РИСКАМИ**

*Рассматриваются задачи математического моделирования структуры системы технических объектов путём равномерного распределения риска. Предлагается алгоритм итерационного решения задачи.*

Технические риски, оценка риска, производительность, качество, математическое моделирование

I.Yu. Vigodchikova

**MATHEMATICAL MODELING OF THE SYSTEM  
WITH EVENLY DISTRIBUTED RISKS**

*The problems of the technical system for mathematical modeling with evenly distributed risks are considered. An algorithm for the problem decision is suggested.*

Technical risks, evenly distributed, risk assessment, output, quality, mathematical modeling

С понятием «мера риска» в математике традиционно связывают некоторый функционал [1], определённый на множестве распределений случайной величины, обладающий определёнными свойствами, среди которых обычно присутствует выпуклость на некотором множестве. Анализ и количественной оценке риска производственно-технических объектов и систем посвящены многие научные работы [1-3]. Зная производительность каждой составляющей системы, нужно найти, какой удельный вес в общем объёме производства эта составляющая должна иметь, чтобы система обладала определённой, заранее заданной производительностью, минимизировав риск сбой её компонент.

Пусть  $\theta_i$  – доля  $i$ -й составляющей в системе из  $n$  компонент. Считаем, что:

1) заданы ограничения на доли компонент  $1 \geq a_i \geq 0, b_i \geq a_i, i \in I \subset \overline{1, n}$ ,

2) заданы ожидаемые производительности компонент  $m_i$  и требуемая производительность системы  $m_p$ ,

3) получены оценки рисков эксплуатации компонент системы  $\sigma_i$ .

Требуется равномерно диверсифицировать риски ( $\sigma_i$ ) между всеми составляющими, взвесив их по долям в объёме производства всей системы, за счёт выбора этих долей:

$$\Psi(\theta) := \max_{i=1, n} \sigma_i \theta_i \rightarrow \min_{\theta \in \Omega}, \quad (1)$$

$$\Omega = \{ \theta = (\theta_1, \dots, \theta_n) \in R^n : \sum_{i=1}^n \theta_i = 1, \sum_{i=1}^n m_i \theta_i = m_p, a_i \leq \theta_i \leq b_i, \forall i \in I \}. \quad (2)$$

Поскольку отказаться от получения более высокой производительности можно, только имея перспективу снижения риска, считаем  $m_1 > \dots > m_n > 0$  и  $\sigma_1 > \dots > \sigma_n > 0$  (упорядоченность этих величин по убыванию не имеет принципиального значения). Обозначим через  $X_i = \{a_i, b_i\}$ ,  $\forall i \in I$ .

### 1. Редукция задачи.

Рассмотрим следующие надмножества множества (2):

$$D = \{ \theta = (\theta_1, \dots, \theta_n) \in R^n : \sum_{i=1}^n \theta_i = 1, \sum_{i=1}^n m_i \theta_i = m_p \}. \quad (3)$$

$$D_{i_0} = \{ \theta = (\theta_1, \dots, \theta_n) \in R^n : \sum_{i=1}^n \theta_i = 1, \sum_{i=1}^n m_i \theta_i = m_p, \theta_{i_0} = x, i_0 \in I, x \in X_{i_0} \}. \quad (4)$$

$$\Omega_{i_0} = \{ \theta = (\theta_1, \dots, \theta_n) \in R^n : \sum_{i=1}^n \theta_i = 1, \sum_{i=1}^n m_i \theta_i = m_p, \quad (5)$$

$$\theta_{i_0} = x, i_0 \in I, x \in X_{i_0}, a_i \leq \theta_i \leq b_i, \forall i \in I \setminus \{i_0\} \}.$$

Обобщаем задачу (1):

$$\Psi(\theta) := \max_{i=1, n} \sigma_i \theta_i \rightarrow \min_{\theta \in \Omega_{i_0}}, \quad (6)$$

$$\Psi(\theta) := \max_{i=1, n} \sigma_i \theta_i \rightarrow \min_{\theta \in D}, \quad (7)$$

$$\Psi(\theta) := \max_{i=1, n} \sigma_i \theta_i \rightarrow \min_{\theta \in D_{i_0}}, \quad (8)$$

Пусть  $x \in X_{i_0}$ . Осуществим преобразование исходных данных (назовём  $x$ -преобразованием).

Введём в рассмотрение вектор

$$\begin{aligned} \theta^{i_0} &= (\theta_1^{i_0}, \dots, \theta_n^{i_0}) \in R^{n-1} : \\ \theta_1^{i_0} &= \frac{\theta_1^*}{1-x}, \dots, \theta_{i_0-1}^{i_0} = \frac{\theta_{i_0-1}^*}{1-x}, \theta_{i_0}^{i_0} = \frac{\theta_{i_0+1}^*}{1-x}, \dots, \theta_{n-1}^{i_0} = \frac{\theta_n^*}{1-x}. \end{aligned} \quad (9)$$

Обозначим  $I^{i_0} := I \setminus \{i_0\}$ ,

$$\begin{aligned} m_1^{i_0} &= m_1, \dots, m_{i_0-1}^{i_0} = m_{i_0-1}, m_{i_0}^{i_0} = m_{i_0+1}, \dots, m_{n-1}^{i_0} = m_n, m_p^{i_0} := (m_p - x m_{i_0}) / (1-x), \\ \sigma_1^{i_0} &= \sigma_1, \dots, \sigma_{i_0-1}^{i_0} = \sigma_{i_0-1}, \sigma_{i_0}^{i_0} = \sigma_{i_0+1}, \dots, \sigma_{n-1}^{i_0} = \sigma_n, a_i^{i_0} = \frac{a_i}{1-x}, b_i^{i_0} = \frac{b_i}{1-x}, \forall i \in I^{i_0}. \end{aligned}$$

Путём  $x$ -преобразования исходных данных решение задачи (6) сводится к решению задачи (1) с числом неизвестных на единицу меньше, чем в исходной задаче:

$$\begin{aligned} \Psi^{i_0}(\theta) &:= \max_{i=1, n-1} \sigma_i^{i_0} \theta_i \rightarrow \min_{\theta^{i_0} \in \Omega^{i_0}}, \\ \Omega^{i_0} &= \{ \theta^{i_0} = (\theta_1^{i_0}, \dots, \theta_{n-1}^{i_0}) \in R^{n-1} : \sum_{i=1}^{n-1} \theta_i^{i_0} = 1, \sum_{i=1}^n m_i^{i_0} \theta_i^{i_0} = m_p^{i_0}, \\ & a_i^{i_0} \leq \theta_i^{i_0} \leq b_i^{i_0}, \forall i \in I^{i_0} \}. \end{aligned} \quad (10)$$

Следующее утверждение очевидно.

**Утверждение 1.** Пусть  $\theta^* = (\theta_1^*, \dots, \theta_n^*)$  – решение задачи (7) и  $a_i \leq \theta_i \leq b_i, \forall i \in I$ . Тогда он является решением задачи (1).

**Теорема 1.** Пусть вектор  $\theta^* = (\theta_1^*, \dots, \theta_n^*)$  – решение задачи (1) не является решением задачи (7). Тогда для некоторого  $i_0 \in \overline{1, n}$  этот вектор является решением задачи (6).

*Доказательство.* По условию теоремы расширение допустимого множества за счёт снятия ограничений  $a_i \leq \theta_i \leq b_i, \forall i \in I$  не содержит решения исходной задачи, следовательно хотя бы одна компонента решения находится на границе множества векторов, удовлетворяющих неравенствам  $a_i \leq \theta_i \leq b_i, \forall i \in I$ . Это и приводит к необходимости сужения исходного множества ограничений, по крайней мере, до множества  $\Omega_{i_0}$ .

Следующее утверждение очевидно.

**Утверждение 2.** Пусть существует  $i_0 \in \overline{1, n}$  такое, что  $\theta^* = (\theta_1^*, \dots, \theta_n^*)$  – решение задачи (8) и  $a_i \leq \theta_i \leq b_i, \forall i \in I$ . Тогда он является решением задачи (1).

*Алгоритм решения задачи (1) состоит в повторении следующих действий:*

Шаг 1. Решаем задачу (7). Пользуемся утверждением 1. Если решение задачи (1) получено, алгоритм завершается, если нет, переходим к шагу 2.

Шаг 2. Перебирая  $i_0 \in I, x \in X_{i_0}$ , решаем задачу (8). Пользуемся утверждением 1. Если решение задачи (1) получено, алгоритм завершается, если нет, для каждого  $i_0 \in I, x \in X_{i_0}$  осуществляем  $x$ -преобразование и с задачей (10) возвращаемся к шагу 1.

Продолжая процедуру сужения исходного множества и решая каждый раз задачу (8), через конечное число шагов приходим к решению исходной задачи.

**2. Решение задачи (7).**

Обозначим через  $J(\theta) = \{i \in \overline{1, n} : \Psi(\theta) = \sigma_i \theta_i\}$ .

**Лемма 2.** Если  $\theta^* \in D$  является решением задачи (1) при  $m_p \neq \left( \sum_{i=1}^n m_i \sigma_i^{-1} \right) / \sum_{i=1}^n \sigma_i^{-1}$ , то

либо  $J(\theta^*) = \{1, \dots, n-1\}$ , либо  $J(\theta^*) = \{2, \dots, n\}$ .

*Доказательство.* Функция  $\Psi(\theta)$  является выпуклой на  $R^n$ , а задача (1) является задачей выпуклого программирования. В соответствии с известным фактом из выпуклого анализа [3] критерием решения  $\theta^* \in D$  задачи (1) является выполнение соотношения:

$$0_n \in \partial\Psi(\theta^*) - K^+(\theta^*, D), \tag{11}$$

где  $0_n = (0, \dots, 0) \in R^n$ ,  $\partial\Psi(\theta)$  – субдифференциал функции  $\Psi(\cdot)$  в точке  $\theta$ , а  $K^+(\theta^*, D)$  – сопряжение конуса возможных направлений множества  $D$  в точке  $\theta$ . Пользуясь средствами выпуклого анализа (например, [3]), нетрудно установить, что для  $\theta^* \in D$

$$\partial\Psi(\theta^*) = \text{co}\{(0, \dots, 0, \sigma_i, 0, \dots, 0) : i \in I(\theta^*)\}, \tag{12}$$

$$K^+(\theta, D) = \{\theta = \lambda 1_n + \mu m, \lambda, \mu \in R\}. \tag{13}$$

Здесь  $1_n = (1, \dots, 1) \in R^n$ ,  $m = (m_1, \dots, m_n) \in R^n$ ,  $\text{co } A$  – выпуклая оболочка множества  $A$ . Подстановка формул (12)-(13) в соотношение (11) и допущение о том, что множество  $I(\theta^*)$  содержит менее  $n-1$  элементов, сразу приводит к противоречию. А предположение о том, что  $J(\theta^*) = \{1, \dots, n\}$  говорит о том, что это возможно только при  $m_p = \left( \sum_{i=1}^n m_i \sigma_i^{-1} \right) / \sum_{i=1}^n \sigma_i^{-1}$ .

Осталось доказать, что множество  $J(\theta^*)$  состоит из элементов, расположенных подряд. Предположим противное, то есть  $J(\theta^*) = \{1, \dots, n\} \setminus \{i_0\}$ ,  $i_0 \in \overline{2, n-1}$ . Тогда из (11)-(13) следует существование  $\alpha_i > 0, i \in \overline{1, n} \setminus \{i_0\}$ , а также  $\lambda$  и  $\mu$  из  $R$  таких, что

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 \sigma_1 + \lambda + \mu m_1 = 0, \\ \dots \\ \lambda + \mu m_{i_0} = 0, \\ \dots \\ \alpha_n \sigma_n + \lambda + \mu m_n = 0, \\ \alpha_1 + \dots + \alpha_n = 1. \end{array} \right. \tag{14}$$

Из (14) получаем  $\sigma_i = \mu(m_{i_0} - m_i) \alpha_i^{-1}$  для всех  $i \in \overline{1, n} \setminus \{i_0\}$ . Поэтому если  $1 < i_0 < n$ , то  $\sigma_1$  и  $\sigma_n$  принимают разные знаки ввиду упорядоченности чисел  $\{m_i\}$ ,  $i \in \overline{1, n}$ . Это противоречит условию их положительности. Лемма доказана.

Обозначим  $\nu = \sum_{i=1}^n \sigma_i^{-1}$ ,  $\gamma = \sum_{i=1}^n m_i \sigma_i^{-1}$ ,  $m_p^* = \gamma / \nu$ . Преобразуем:

$$\begin{aligned} (m_1 - m_n) / \sigma_1 + \dots + (m_{n-1} - m_n) / \sigma_{n-1} &= \gamma - m_n \nu > 0, \\ (m_2 - m_1) / \sigma_2 + \dots + (m_n - m_1) / \sigma_n &= \gamma - m_1 \nu < 0. \end{aligned}$$

**Теорема 2.** В зависимости от  $m_p$ , решением задачи (7) является  $\theta^* = (\theta_1^*, \dots, \theta_n^*)$ :

1) при  $m_p = m_p^*$ ,  $\theta_i^* = 1 / (\nu \sigma_i)$ ,  $i \in \overline{1, n}$ .

2) при  $m_1 > m_p > m_p^*$ ,  $\theta_i^* = \frac{m_p - m_n}{\sigma_i (\gamma - m_n \nu)}$ ,  $i \in \overline{1, n-1}$ ,

$\theta_n^* = ((m_1 - m_p) / \sigma_1 + \dots + (m_{n-1} - m_p) / \sigma_{n-1}) / (\gamma - m_n \nu)$ ; если

$(\gamma - m_n / \sigma_n) / (\nu - 1 / \sigma_n) < m_p < m_1$ , то  $\theta_n^* < 0$ .

3) при  $m_n < m_p < m_p^*$ ,  $\theta_i^* = \frac{m_p - m_1}{\sigma_i(\gamma - m_1\nu)}$ ,  $i = \overline{2, n}$ ,

$\theta_1^* = ((m_2 - m_p)/\sigma_2 + \dots + (m_n - m_p)/\sigma_n)/(\gamma - m_1\nu)$ ; если  $(\gamma - m_1/\sigma_1)/(\nu - 1/\sigma_1) > m_p > m_n$ , то  $\theta_1^* < 0$ .

*Доказательство.* Нетрудно показать, что решение задачи (1) существует. В соответствии с доказанной леммой возможны 3 варианта для множества  $J(\theta^*)$ :  $J(\theta^*) = \{1, \dots, n\}$ ,  $J(\theta^*) = \{1, \dots, n-1\}$ ,  $J(\theta^*) = \{2, \dots, n\}$ , что легко приводит к однозначным соответствующим вариантам решения.

Получим в явном виде решение задачи (8).

**3. Решение задачи (8).**

Осуществим  $x$ -преобразование. Обозначим  $\nu^{i_0} = \sum_{i=1}^{n-1} (\sigma_i^{i_0})^{-1}$ ,  $\gamma^{i_0} = \sum_{i=1}^{n-1} m_i^{i_0} (\sigma_i^{i_0})^{-1}$ ,

$m_p^{**} = \gamma^{i_0} / \nu^{i_0}$ . В итоге берётся то из решений ( $x=a$  или  $x=b$ ), при котором значение целевой функции меньше.

**Теорема 3.** В зависимости от  $m_p$ , решением задачи (8) является вектор  $\theta^* = (\theta_1^*, \dots, \theta_n^*)$ ,  $\theta_{i_0}^* = x$ ,

1) при  $m_p^{i_0} = m_p^{**}$ ,  $\theta_i^* = 1/(\nu^{i_0} \sigma_i^{i_0})$ ,  $\forall i \in I \setminus \{i_0\}$ .

2) при  $m_1^{i_0} > m_p^{i_0} > m_p^{**}$ ,  $\theta_i^* = \frac{(m_p^{i_0} - m_n^{i_0})(1-x)}{\sigma_i^{i_0}(\gamma^{i_0} - m_n^{i_0}\nu^{i_0})}$ ,  $\forall i \in I \setminus \{i_0\} \cup \{n\}$ ,

$\theta_n^* = ((m_1^{i_0} - m_p^{i_0})/\sigma_1^{i_0} + \dots + (m_{n-1}^{i_0} - m_p^{i_0})/\sigma_{n-1}^{i_0})(1-x)/(\gamma^{i_0} - m_n^{i_0}\nu^{i_0})$ .

3) при  $m_n^{i_0} < m_p^{i_0} < m_p^{**}$ ,  $\theta_i^* = \frac{m_p^{i_0} - m_1^{i_0}}{\sigma_i^{i_0}(\gamma^{i_0} - m_1^{i_0}\nu^{i_0})}$ ,  $i = \overline{2, n}$ ,

$\theta_1^* = ((m_2^{i_0} - m_p^{i_0})/\sigma_2^{i_0} + \dots + (m_n^{i_0} - m_p^{i_0})/\sigma_n^{i_0})(1-x)/(\gamma^{i_0} - m_1^{i_0}\nu^{i_0})$ .

*Пример.* Рассматривается оснащение объекта социального назначения энергосберегающими осветительными приборами 4 видов (по мощности). Для обследования взяты 100 приборов каждого вида, срок тестирования – 30 дней, среднее число ежедневных сбоев в каждой группе считаем рисковым показателем, норматив мощности 7,3 усл. ед. Приборов первого вида должно быть не менее 10 % и не более 20 % ( $a_1 = 0,1, b_1 = 0,2$ ). Вопрос в том, сколько приборов каждого вида применять, если всего нужно 100 осветительных приборов.

Исходные данные для модели (1)-(2):

сигма1	1,52672	m1	7,42
сигма2	1,3406	m2	7,38
сигма3	1,2063	m3	7,27
сигма4	0,84797	m4	7,26
		m_p	7,3

Шаг 1. Решение задачи (7).

сигма1	1,52672	m1	7,42	teta1	0,03607	сигма*(-1)_1	0,655	4,8600848	0,05506
сигма2	1,3406	m2	7,38	teta2	0,26107	сигма*(-1)_2	0,74593	5,5049978	0,34999
сигма3	1,2063	m3	7,27	teta3	0,29013	сигма*(-1)_3	0,82898	6,0266803	0,34999
сигма4	0,84797	m4	7,26	teta4	0,41274	сигма*(-1)_4	1,17929	8,5616738	0,34999
		m_p	7,3		1	nu	3,40921	24,953437	gamma
		m_p*	7,3194278						

(НЕ получено решение, поскольку не соблюдены нормативы на долю приборов 1 типа!)



### 1. Введение

Для моделей, описываемых уравнениями в частных производных, не всегда удается построить аналитические решения, и в этом случае для их исследования можно применять численные эксперименты на соответствующих разностных схемах. Так, для построения разностных схем из первоначально заданных базовых разностных соотношений, аппроксимирующих исходную систему дифференциальных уравнений, строится базис Грёбнера разностного идеала. Из этого базиса иногда в нелинейном и всегда в линейном случае можно извлечь разностную схему, которую иногда невозможно построить традиционными методами генерации разностных схем. Зачастую такие разностные схемы обладают уникальными свойствами, хорошо передающими физику процессов, описываемых исходными дифференциальными уравнениями.

Исследование посвящено анализу распространения нелинейных волн деформаций в геометрически и физически нелинейной упругой цилиндрической оболочке, содержащей вязкую несжимаемую жидкость. Волновые процессы в упругой цилиндрической оболочке без взаимодействия с жидкостью ранее исследованы с позиций теории солитонов. Наличие жидкости потребовало разработки новой математической модели и компьютерного моделирования процессов, происходящих в рассматриваемой системе.

В представленной работе техника базисов Грёбнера будет использована для анализа распространения нелинейных волн деформаций в упругих геометрически и физически нелинейных цилиндрических оболочках, содержащих вязкую несжимаемую жидкость.

**2. Постановка задачи гидроупругости и построение математической модели методом возмущений.** Волновые процессы в упругой цилиндрической оболочке без взаимодействия с жидкостью ранее исследованы в [1, 2]. Получим уравнение динамики, описывающее волну деформации, с учетом наличия жидкости в оболочке с помощью асимптотических методов для решения связанной задачи гидроупругости с соответствующими граничными условиями. Рассмотрим бесконечно длинную упругую цилиндрическую оболочку, внутри которой находится вязкая несжимаемая жидкость. Уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости и уравнения неразрывности в цилиндрической системе координат  $r, \vartheta, x$  записываются в случае осесимметричного течения в виде [3]

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_x \frac{\partial V_r}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} &= \nu \left( \frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial x^2} - \frac{V_r}{r^2} \right), \\ \frac{\partial V_x}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_x}{\partial r} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \nu \left( \frac{\partial^2 V_x}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_x}{\partial r} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} \right); \\ \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_x}{\partial x} &= 0. \end{aligned} \tag{1}$$

На границе с оболочкой выполняется условие прилипания жидкости

$$V_r = -\frac{\partial W}{\partial t}, V_x = \frac{\partial U}{\partial t} \text{ при } r = R_1 - W. \tag{2}$$

Здесь  $t$  – время;  $V_r, V_x$  – проекции вектора скорости жидкости на оси цилиндрической системы координат;  $p$  – давление;  $\rho$  – плотность;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости;  $U$  – продольное упругое перемещение оболочек по оси  $x$ ;  $W$  – прогиб, положительный к центру кривизны оболочки;  $R_1$  – внутренний радиус оболочки.

Записывая уравнения движения элемента цилиндрической оболочки в перемещениях для модели Кирхгофа-Лява, считаем материал нелинейно-упругим с кубической зависимостью интенсивности напряжений  $\sigma_1$  от интенсивности деформаций  $e_1$  [4, 5].

$$\sigma_1 = Ee_1 - me_1^3. \tag{3}$$

Здесь  $E$  – модуль Юнга;  $m$  – константа материала, определяемая из опытов на растяжение или сжатие.

Уравнения динамики геометрически и физически нелинейной оболочки с учетом (3) записываются в виде [5]

$$\begin{aligned}
 & \frac{Eh_0}{1-\mu_0^2} \frac{\partial}{\partial x} \left\langle \left( \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial W}{\partial x} \right)^2 + \frac{h_0^2}{24} \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right)^2 - \mu_0 \frac{W}{R} \right) \left[ 1 - \right. \right. \\
 & \left. \left. - \frac{4}{3} \frac{m}{E} \left( \left( \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{W}{R} \right)^2 + \frac{\partial U}{\partial x} \frac{W}{R} \right) \right] \right\rangle - \rho_0 h_0 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = -q_x, \\
 & \frac{Eh_0}{1-\mu_0^2} \left\langle \frac{h_0^2}{12} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[ \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \left( 1 + \frac{\partial U}{\partial x} \right) \right] - \left\{ \frac{\mu_0}{R} \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial W}{\partial x} \right)^2 + \frac{h_0^2}{24} \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right)^2 + \frac{\partial U}{\partial x} \right] + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{W}{R^2} \right\} \left[ 1 + \frac{4}{3} \frac{m}{E} \left( \left( \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{W}{R} \right)^2 + \frac{\partial U}{\partial x} \frac{W}{R} \right) \right] - \right. \\
 & \left. - \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\partial W}{\partial x} \left( \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial W}{\partial x} \right)^2 + \frac{h_0^2}{24} \left( \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right)^2 - \right. \right. \\
 & \left. \left. - \mu_0 \frac{W}{R} \right) \left[ 1 - \frac{4}{3} \frac{m}{E} \left( \left( \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{W}{R} \right)^2 + \frac{\partial U}{\partial x} \frac{W}{R} \right) \right] \right\} \right\rangle + \rho_0 h_0 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = q_n.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Здесь  $\rho_0$  – плотность материала оболочки;  $\mu_0$  – коэффициент Пуассона;  $R$  – радиус срединной поверхности оболочки;  $h_0$  – толщина оболочки ( $h_0/2 = R - R_1$ );  $c_0 = \sqrt{E/[\rho_0(1-\mu_0^2)]}$  – скорость звука в материале оболочки;  $q_x, q_n$  – напряжения со стороны жидкости.

Если снять напряжения на невозмущенную поверхность оболочки ( $W \ll R$ ), то можно считать, что поверхностные напряжения со стороны жидкости определяются формулами

$$q_x = \left[ \rho v \left( \frac{\partial V_x}{\partial r} + \frac{\partial V_r}{\partial x} \right) \right]_{r=R}, \quad q_n = \left[ -p + 2\rho v \frac{\partial V_r}{\partial r} \right]_{r=R}. \tag{5}$$

Принимая за характерную длину волны  $l$ , перейдем к безразмерным переменным для исследования уравнений (4)

$$W = w_m u_3, \quad U = u_m u_1, \quad t^* = \frac{c_0}{l} t, \quad x^* = \frac{x}{l}. \tag{6}$$

Положим

$$\begin{aligned}
 \frac{u_m}{l} &= \varepsilon = o(1), & \frac{w_m}{R} &= O(\varepsilon), & \frac{R}{l} &= O(\varepsilon^{1/2}), \\
 \frac{h_0}{R} &= O(\varepsilon), & \frac{E}{m} &= O(\varepsilon), & \varepsilon_g \frac{R}{c_0} &= O(\varepsilon^{3/2}).
 \end{aligned} \tag{7}$$

где  $\varepsilon \ll 1$  – малый параметр в задаче (4).

Применим метод двухмасштабных асимптотических разложений, вводя независимые переменные в виде

$$\xi = x^* - ct^*, \quad \tau = \varepsilon t^*, \tag{8}$$

где  $c$  – безразмерная неизвестная скорость волны,  $\tau$  – внутренняя переменная, а зависимые переменные представим в виде разложения по малому параметру  $\varepsilon$

$$u_1 = u_{10} + \varepsilon u_{11} + \dots, \quad u_3 = u_{30} + \varepsilon u_{31} + \dots \tag{9}$$

Для определения правой части уравнения (4) введем безразмерные переменные и параметры

$$\begin{aligned}
 V_r &= w_m \frac{c_0}{l} v_r, & V_x &= w_m \frac{c_0}{R_l} v_x, & r^* &= \frac{r}{R_l}, & t^* &= \frac{c_0}{l} t, & x^* &= \frac{x}{l}, & p &= \frac{\rho v c_0 l w_m}{R_l^3} P, \\
 \psi &= \frac{R_l}{l} = O(\varepsilon^{1/2}), & \lambda &= \frac{w_m}{R_l} = O(\varepsilon), & \psi &\ll 1, & \lambda &\ll 1.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Подставляя (10) в уравнения гидродинамики (4) и граничные условия (2), представим безразмерные скорость и давление в виде разложения по малому параметру  $\lambda$



$$v_x = v_x^0 + \lambda v_x^1 + \dots, \quad v_r = v_r^0 + \lambda v_r^1 + \dots, \quad P = P^0 + \lambda P^1 + \dots \quad (11)$$

С принятой точностью по  $\lambda, \psi, \varepsilon$  положим  $R_1 \approx R$  и окончательно получим

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi \partial \tau} + \frac{u_m}{l \varepsilon} \frac{\sqrt{1-\mu_0^2}}{2} \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{R}{l} \right)^2 \frac{\mu_0^2 \sqrt{1-\mu_0^2}}{2} \frac{\partial^4 u_{10}}{\partial \xi^4} - \\ & - \frac{2m}{E \varepsilon} \left( \frac{u_m}{l} \right)^2 (1-\mu_0 + \mu_0^2) \sqrt{1-\mu_0^2} \left( \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} \right)^2 \frac{\partial^2 u_{10}}{\partial \xi^2} - \\ & - 2[1-(2\mu_0)^2] \frac{\rho l v}{\rho_0 h_0 \varepsilon R_1 c_0} \frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Легко видеть, что замена

$$\frac{\partial u_{10}}{\partial \xi} = c \varphi, \quad \eta = c_1 \xi, \quad t = c_2 \tau \quad (13)$$

позволяет записать уравнение (13) в виде

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + 6\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} + \frac{\partial^3 \varphi}{\partial \eta^3} - \sigma_1 \varphi^2 \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} - \sigma \varphi = 0. \quad (14)$$

Здесь  $\sigma = +1$  (при  $\mu_0 < 1/2$  – неорганические материалы),  $\sigma = -1$  (при  $\mu_0 > 1/2$  – живые организмы) и  $\sigma = 0$  (при  $\mu_0 = 1/2$  – резина).

Постоянные  $c, c_1, c_2, \sigma_1$  определяются при подстановке (14) в (13) и имеют вид

$$\begin{aligned} c_2 &= \sigma 2[1-(2\mu_0)^2] \frac{\rho l v}{\rho_0 h_0 \varepsilon R_1 c_0}, \quad c_1 = \left[ c_2 \varepsilon \left( \frac{l}{R} \right)^2 \frac{2}{\mu_0^2 \sqrt{1-\mu_0^2}} \right]^{1/3}, \\ c &= 6 \frac{R^2}{l u_m} \mu_0^2 c_1^2, \quad \sigma_1 = \frac{2m}{E \varepsilon} \left( \frac{u_m}{l} \right)^2 (1-\mu_0 + \mu_0^2) \sqrt{1-\mu_0^2} \frac{c^2 c_1}{c_2}. \end{aligned}$$

В случае отсутствия жидкости последнее слагаемое в уравнении (14) исчезает, оно переходит в МКДВ и имеет точное частное решение в виде кинк-антикинк

$$\varphi = \frac{3}{\sigma_1} \pm \frac{k\sqrt{6}}{\sqrt{\sigma_1}} \tanh \left( kx + t \left( 2k^3 - 9 \frac{k}{\sigma_1} \right) \right). \quad (15)$$

Эти решения при  $t = 0$  можно взять в качестве начальных условий при решении задачи Коши для уравнения (14).

**3. Компьютерное моделирование.** В [6-8] развит подход к построению разностных схем, основанный на построении переопределенной системы разностных уравнений, получаемой из аппроксимации интегральных законов сохранения и интегральных соотношений, связывающих искомые функции и их производные.

Запишем уравнение (14) в интегральной форме

$$\oint_{\partial \Omega} \left( -3\varphi^2 + \frac{\sigma_1}{3} \varphi^3 - \varphi_{\eta\eta} \right) dt + \varphi d\eta - \iint_{\Omega} \sigma \varphi dt d\eta = 0 \quad (16)$$

для любой области  $\Omega$ . Для перехода к дискретной формулировке сопоставим  $u_j^n = \varphi(t_n, \eta_j)$  и выберем в качестве базового контур, показанный на рис. 1.

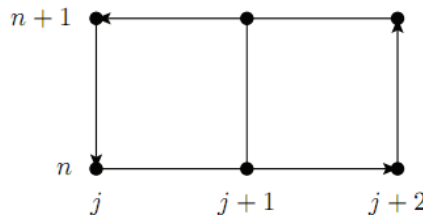


Рис. 1. Базовый контур для уравнения (16)

Добавим интегральные соотношения

$$\int_{\eta_j}^{\eta_{j+1}} u_{\eta} d\eta = u(t, \eta_{j+1}) - u(t, \eta_j),$$

$$\int_{\eta_j}^{\eta_{j+1}} u_{\eta\eta} d\eta = u_{\eta}(t, \eta_{j+1}) - u_{\eta}(t, \eta_j).$$
(17)

Используя для интегрирования по времени и по четным производным по  $\eta$  формулу трапеций, а по нечетным производным по  $\eta$ -формулу среднего значения, и полагая  $t_{n+1} - t_n = \tau$ ,  $\eta_{j+1} - \eta_j = h$ , перепишем соотношения (16), (17) в виде

$$\begin{aligned} & \left( -2(u_j^{2n} + u_j^{2n+1} - u_{j+2}^{2n} - u_{j+2}^{2n+1}) + \right. \\ & \left. + \frac{\sigma_1}{3}(u_j^{3n} + u_j^{3n+1} - u_{j+2}^{3n} - u_{j+2}^{3n+1}) - \right. \\ & \left. - (u_{\eta\eta_j}^n + u_{\eta\eta_j}^{n+1} - u_{\eta\eta_{j+2}}^n - u_{\eta\eta_{j+2}}^{n+1}) \right) \cdot \frac{\tau}{2} + \\ & + (u_{j+1}^{n+1} - u_{j+1}^n) \cdot 2h - \sigma(u_{j+1}^{n+1} + u_{j+1}^n) \cdot h\tau = 0, \end{aligned}$$

$$(u_{\eta_{j+1}}^n + u_{\eta_j}^n) \cdot \frac{h}{2} = u_{j+1}^n - u_j^n,$$

$$u_{\eta\eta_{j+1}}^n \cdot 2h = u_{\eta_{j+2}}^n - u_{\eta_j}^n.$$
(18)

За счет выбора допустимого лексикографическое упорядочение сначала по функциям  $u_{\eta\eta} > u_{\eta} > u$ , затем по переменным  $n, j$ .

В результате получим следующую разностную схему для уравнения (14), аналогичную схеме Кранка-Николсона для уравнения теплопроводности

$$\begin{aligned} & \frac{u_j^{n+1} - u_j^n}{\tau} + 3 \frac{(u_{j+1}^{2n+1} - u_{j-1}^{2n+1}) + (u_{j+1}^{2n} - u_{j-1}^{2n})}{4h} + \\ & + \frac{(u_{j+2}^{n+1} - 2u_{j+1}^{n+1} + 2u_{j-1}^{n+1} - u_{j-2}^{n+1}) + (u_{j+2}^n - 2u_{j+1}^n + 2u_{j-1}^n - u_{j-2}^n)}{4h^3} - \\ & - \sigma_1 \frac{(u_{j+1}^{3n+1} - u_{j-1}^{3n+1}) + (u_{j+1}^{3n} - u_{j-1}^{3n})}{12h} - \\ & - \sigma \frac{u_j^{n+1} + u_j^n}{2} = 0. \end{aligned}$$
(19)

Полученные неявные разностные схемы имеют квадратичную и кубическую нелинейность для следующего временного слоя. При построении решения использована следующая линеаризация:

$$v_{k+1}^3 = v_{k+1}^3 - v_k^3 + v_k^3 = (v_{k+1} - v_k)(v_{k+1}^2 + v_{k+1}v_k + v_k^2) + v_k^3 \approx v_{k+1} \cdot 3v_k^2 - 2v_k^3.$$

$$v_{k+1}^2 = v_{k+1}^2 - v_k^2 + v_k^2 = (v_{k+1} - v_k)(v_{k+1} + v_k) + v_k^2 \approx v_{k+1} \cdot 2v_k - v_k^2.$$

Шаг по времени  $t$  брался равным половине шага по переменной  $\eta$ . Программа расчета была написана на языке Python с использованием пакета SciPy [9].

Результаты проведенного компьютерного моделирования представлены на рис. 2-4. Расчеты позволяют сделать следующие выводы. Наличие жидкости в оболочке приводит к существенному изменению характера распространения в ней продольных волн деформаций. Если в оболочке нет жидкости (эквивалентно условию  $\sigma = 0$ ), уединенная волна (кинк) движется, сохраняя свою первоначальную форму и скорость (см. рис. 2).

Наличие жидкости в оболочке из неорганических материалов ( $\sigma = 1$ ) ведет к росту амплитуды волны (см. рис. 3). Таким образом, можно утверждать, что жидкость способствует постоянной дополнительной «подпитке» энергией (из источника первоначального возбуждения), обеспечивающей рост амплитуды.

Наличие жидкости в оболочке из органических материалов (живые организмы, что соответствует  $\sigma = -1$ ) ведет к быстрому уменьшению амплитуды волны, то есть к её затуханию (см. рис. 4). Для поддержки процесса распространения волны необходимо периодическое её возбуждение.

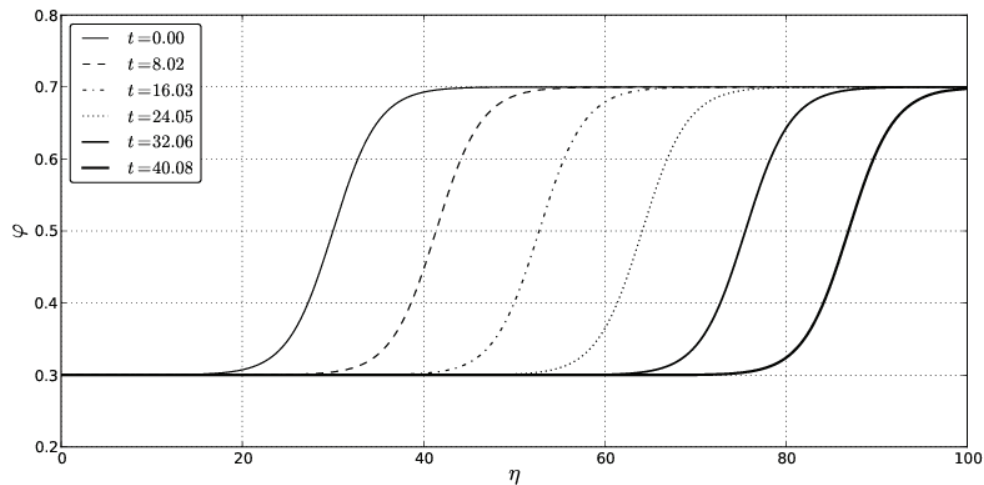


Рис. 2. График численного решения уравнения (14) с начальным условием (15) при  $\sigma = 0.0$ ,  $\sigma_1 = 6.0$ ,  $k = 0.2$  и для  $t = 0.0 \dots 40.08$

**4. Заключение.** Проведенное моделирование с использованием компьютерной алгебры позволило выявить особенности поведения волн деформаций в геометрически и физически нелинейной упругой цилиндрической оболочке, содержащей вязкую несжимаемую жидкость.

Использование базиса Грёбнера для генерации разностной схемы при численном решении задачи Коши для нелинейного уравнения в частных производных третьего порядка по пространственной переменной, позволило получить результат расчета без осцилляций вызываемых численной реализацией. Численная схема также была протестирована на точном решении для  $\sigma = 0$  (см. рис. 2).

Полученный расчет показал влияние вязкой несжимаемой жидкости на поведение нелинейной волны деформации в оболочке в зависимости от величины, характеризующей материал оболочки – коэффициента Пуассона:

- рост амплитуды волны для неорганических материалов,
- падения амплитуды волны для живых организмов,
- отсутствие влияния жидкости для несжимаемых материалов, таких как резина.

В заключение выражаю благодарность профессору Л. И. Могилевичу за постановку задачи и внимание к работе.

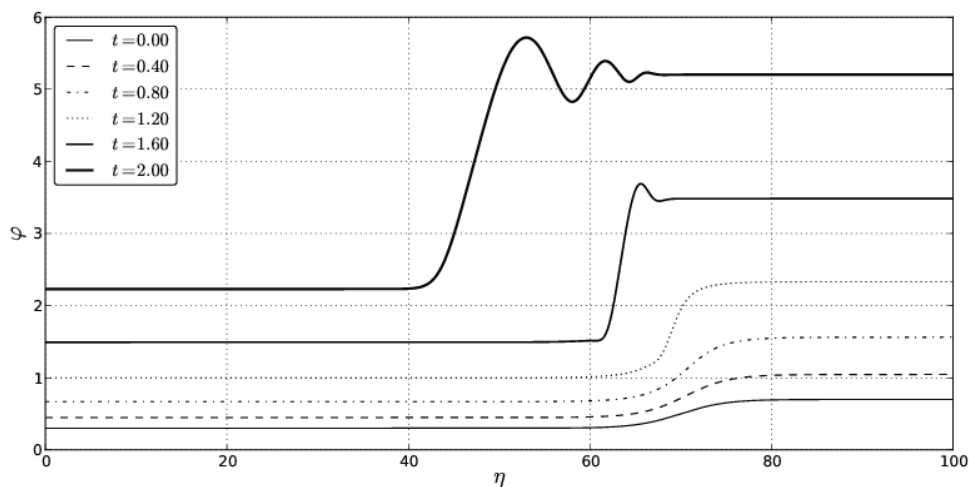


Рис. 3. График численного решения уравнения (14) с начальным условием (15) при  $\sigma = 1.0$ ,  $\sigma_1 = 6.0$ ,  $k = 0.2$  и для  $t = 0.0 \dots 2.00$

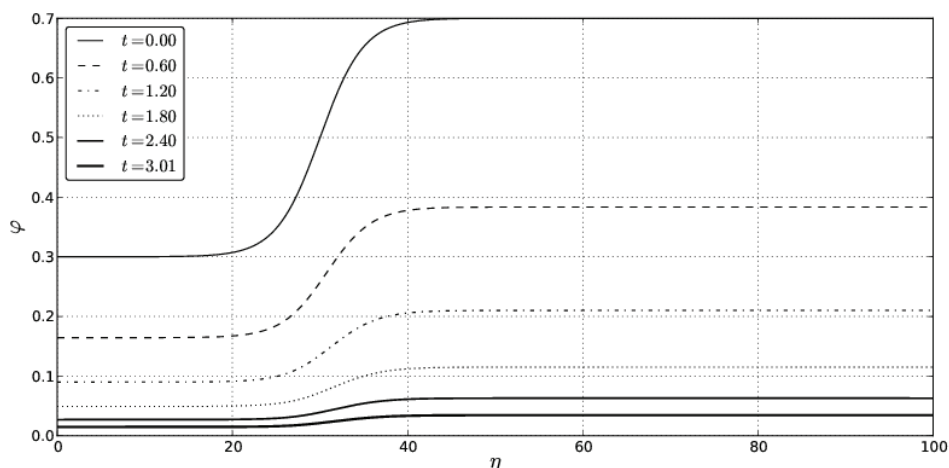


Рис. 4. График численного решения уравнения (14) с начальным условием (15) при  $\sigma = -1.0$ ,  $\sigma_1 = 6.0$ ,  $k = 0.2$  и для  $t = 0.0 \dots 2.00$

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-01-00049а

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Землянухин А.И. Нелинейные волны деформаций в цилиндрических оболочках / А.И. Землянухин, Л.И. Могилевич // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1995. Т. 3. № 1. С. 52-58.
2. Землянухин А.И. Нелинейные волны в цилиндрических оболочках: солитоны, симметрии, эволюция / А.И. Землянухин, Л.И. Могилевич. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1999. С. 132.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. М.: Дрофа, 2003. С. 840.
4. Каузерер К. Нелинейная механика / К. Каузерер. М.: Иностран. лит., 1961. С. 240.
5. Вольмир А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа: задачи гидроупругости / А.С. Вольмир. М.: Наука, 1979. С. 320.
6. Блинков Ю.А. Генерация разностных схем для уравнения Бюргера построением базисов Грёбнера / Ю.А. Блинков, В.В. Мозжилкин // Программирование. 2006. Т. 32. № 2. С. 71-74.
7. Gerdt V.P. Groebner bases and generation of difference schemes for partial differential equations / V.P. Gerdt, Yu.A. Blinkov, V.V. Mozhilkin // Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications. 2006. Vol. 2. P. 26. <http://www.emis.de/journals/SIGMA/2006/Paper051/index.html>.
8. Gerdt V.P. Involution and difference schemes for the Navier-Stokes equations / V.P. Gerdt, Yu.A. Blinkov // Computer Algebra in Scientific Computing. Springer Berlin / Heidelberg, 2009. Vol. 5743 of Lecture Notes in Computer Science. P. 94-105.
9. SciPy. <http://www.scipy.org/>

**Иванов Сергей Викторович** – аспирант кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergey V. Ivanov** – Postgraduate Department of Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Fluid Dynamics, Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 06.11.12

УДК 531.383:532.516: 681.03.06

**И.А. Ковалева**

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛН В СООСНЫХ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ОБОЛОЧКАХ, СОДЕРЖАЩИХ ВЯЗКУЮ НЕСЖИМАЕМУЮ ЖИДКОСТЬ МЕЖДУ НИМИ

*Исследование посвящено анализу распространения нелинейных волн деформаций в физически нелинейных соосных упругих цилиндрических оболочках,*

*содержащих вязкую несжимаемую жидкость между ними. Волновые процессы в упругой цилиндрической оболочке без взаимодействия с жидкостью ранее исследованы с позиций теории солитонов. Наличие жидкости потребовало разработки новой математической модели и компьютерного моделирования процессов, происходящих в рассматриваемой системе.*

Цилиндрические соосные оболочки, колебания, волны деформации, гидроупругость, вязкая несжимаемая жидкость, солитон, базис Грёбнера

I.A. Kovaleva

## NONLINEAR WAVES DYNAMICS MODELLING IN COAXIAL PHYSICALLY NONLINEAR SHELL CONTAINING VISCOUS INCOMPRESSIBLE FLUID BETWEEN

*The present investigation is devoted to the analyses of non-linear deformation waves propagation in physically non-linear coaxial elastic cylinder covers containing viscous incompressible liquid in between. The wave processes in elastic cylinder cover without interaction with liquid were investigated earlier on the basis of soliton theory. The presence of liquid demanded working out a new mathematical model and computer modelling of the processes taking place in the system.*

Cylinder coaxial shells, oscillations, deformation waves, hydroelasticity, viscous incompressible liquid, solitary wave, Groebner basis

### 1. Введение

Приведение систем алгебраических, дифференциальных и разностных уравнений к канонической форме, называемой базисом Грёбнера [1], представляет собой качественный аналитический метод исследования соответствующих математических моделей.

В частности, при поиске частных решений дифференциальных уравнений методом неопределённых коэффициентов возникают переопределённые системы алгебраических уравнений. Построение базиса Грёбнера позволяет проверить совместность системы, определить, обладает ли система конечным или бесконечным числом решений, а в ряде случаев построить решения в явном виде.

Не для всех моделей, описываемых уравнениями в частных производных, удаётся построить аналитические решения и в этом случае для их исследования можно применять численные эксперименты на соответствующих разностных схемах. Так, для построения разностных схем из первоначально заданных базовых разностных соотношений, аппроксимирующих исходную систему дифференциальных уравнений, строится базис Грёбнера разностного идеала. Из этого базиса иногда в нелинейном и всегда в линейном случае можно извлечь разностную схему, которую невозможно построить традиционными методами генерации разностных схем. Зачастую такие разностные схемы обладают уникальными свойствами, хорошо передающими физику процессов, описываемых исходными дифференциальными уравнениями [2].

Кроме того, знание базиса Грёбнера даёт возможность проверить совместность исходных разностных соотношений, определить произвол в решении, посчитав полином Гильберта и, применяя специальный вид допустимого упорядочения при его построении, получить другое представление первоначальных разностных соотношений.

В представленной работе данная техника будет использована в качестве примера для анализа распространения нелинейных волн деформаций в упругих физически нелинейных соосных цилиндрических оболочках, содержащих вязкую несжимаемую жидкость между ними.

**2. Постановка задачи гидроупругости и построение математической модели методом возмущений.** Волновые процессы в упругой цилиндрической оболочке без взаимодействия с жидкостью ранее исследованы в [3, 4] с позиций теории солитонов. Рассмотрим бесконечно длинные соосные упругие цилиндрические оболочки, между которыми находится вязкая несжимаемая жидкость. Уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости и уравнения неразрывности в цилиндрической системе координат  $r, \vartheta, x$  записываются в случае осесимметричного течения в виде [5]

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + V_x \frac{\partial V_r}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} &= \nu \left( \frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial x^2} - \frac{V_r}{r^2} \right), \\ \frac{\partial V_x}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_x}{\partial r} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \nu \left( \frac{\partial^2 V_x}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_x}{\partial r} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} \right); \\ \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_x}{\partial x} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

На границе с оболочкой выполняются условия прилипания жидкости

$$V_r = -\frac{\partial W^{(i)}}{\partial t}, V_x = \frac{\partial U^{(i)}}{\partial t} \quad \text{при } r = R_i - W^{(i)} \quad (2)$$

Здесь  $t$  – время;  $V_r, V_x$  – проекции вектора скорости жидкости на оси цилиндрической системы координат;  $p$  – давление;  $\rho$  – плотность;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости;  $U^{(i)}$  – продольное упругое перемещение оболочек по оси  $x$ ;  $W^{(i)}$  – прогиб, положительный к центру кривизны оболочки;  $R_1$  – внутренний радиус внешней оболочки;  $R_2$  – внешний радиус внутренней оболочки ( $R_1 = R_2 + \delta$ );  $\delta$  – толщина слоя жидкости в кольцевом сечении трубы;  $i = 1$  относится к внешней, а  $i = 2$  – к внутренней оболочке.

Записывая уравнения движения элемента цилиндрических оболочек в перемещениях для модели Кирхгофа-Лява, считаем материал нелинейно-упругим с кубической зависимостью интенсивности напряжений  $\sigma_1$  от интенсивности деформаций  $e_1$  [6,7]

$$\sigma_1 = Ee_1 - me_1^3. \quad (3)$$

Здесь  $E$  – модуль Юнга;  $m$  – константа материала, определяемая из опытов на растяжение или сжатие.

Уравнения динамики физически нелинейных оболочек с учетом (3) записываются в виде [7]

$$\begin{aligned} \frac{E^{(i)} h_0^{(i)}}{1 - \mu^{(i)2}} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial U^{(i)}}{\partial x} - \mu_0^{(i)} \frac{W^{(i)}}{R^{(i)}} \right) \left\{ 1 + \frac{4 m^{(i)}}{3 E^{(i)}} \left[ \left( \frac{\partial U^{(i)}}{\partial x} \right)^2 - \frac{\partial U^{(i)}}{\partial x} \frac{W^{(i)}}{R^{(i)}} + \left( \frac{W^{(i)}}{R^{(i)}} \right)^2 \right] \right\} - \\ - \rho_0^{(i)} h_0^{(i)} \frac{\partial^2 U^{(i)}}{\partial t^2} = -q_x^{(i)}. \\ \frac{E^{(i)} h_0^{(i)3}}{12(1 - \mu_0^{(i)2})} \frac{\partial^4 W^{(i)}}{\partial x^4} - \frac{E^{(i)} h_0^{(i)}}{1 - \mu^{(i)2}} \frac{1}{R^{(i)}} \left( \left( \mu_0^{(i)} \frac{\partial U^{(i)}}{\partial x} - \frac{W^{(i)}}{R^{(i)}} \right) \left\{ 1 - \frac{4 m^{(i)}}{3 E^{(i)}} \left[ \left( \frac{\partial U^{(i)}}{\partial x} \right)^2 - \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. - \frac{\partial U^{(i)}}{\partial x} \frac{W^{(i)}}{R^{(i)}} + \left( \frac{W^{(i)}}{R^{(i)}} \right)^2 \right] \right\} \right) + \rho_0^{(i)} h_0^{(i)} \frac{\partial^2 W^{(i)}}{\partial t^2} = q_n (-1)^{i-1}. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь  $\rho_0^{(i)}$  – плотность материала оболочки;  $\mu_0^{(i)}$  – коэффициент Пуассона;  $R^{(i)}$  – радиусы срединной поверхности оболочек;  $h_0^{(i)}$  – толщины оболочек ( $h_0^{(1)}/2 = R^{(1)} - R_1, h_0^{(2)}/2 = R_2 - R^{(2)}$ );  $c_0^{(i)}$  – скорость звука в материале оболочки;  $q_x^{(i)}, q_n$  – напряжения со стороны жидкости, находящейся внутри кольцевого сечения.

Если снести напряжения на невозмущенную поверхность оболочек ( $W^{(i)} \ll R_i$ ), то можно считать, что поверхностные напряжения со стороны жидкости определяются формулами

$$q_x^{(i)} = \left[ \rho \nu \left( \frac{\partial V_x}{\partial r} + \frac{\partial V_r}{\partial x} \right) \right]_{r=R_i}, \quad q_n = \left[ -p + 2\rho \nu \frac{\partial V_r}{\partial r} \right]_{r=R_i}. \quad (5)$$

Принимая за характерную длину волны  $l$  и считая, что соосные оболочки изготовлены из одного материала, то есть опуская индекс  $i$  у  $E, m, \rho_0, \mu_0, \varepsilon_g$ , перейдем к безразмерным переменным для исследования уравнений (4)

$$W^{(i)} = w_m u_3^{(i)}, \quad U^{(i)} = u_m u_1^{(i)}, \quad t^* = \frac{c_0}{l} t, \quad x^* = \frac{x}{l}, \quad c_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho_0(1 - \mu_0^2)}}. \quad (6)$$

Положим

$$\begin{aligned} \frac{u_m}{l} &= \varepsilon = o(1), & \frac{w_m}{R^{(i)}} &= O(\varepsilon), & \frac{R^{(i)}}{l} &= O(\varepsilon^{1/2}), \\ \frac{h_0^{(i)}}{R^{(i)}} &= O(\varepsilon), & \frac{E}{m} &= O(\varepsilon), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\varepsilon \ll 1$  – малый параметр в задаче (4).

Применим метод двухмасштабных асимптотических разложений, вводя независимые переменные в виде

$$\xi = x^* - ct^*, \quad \tau = \varepsilon t^*, \quad (8)$$

где  $c$  – безразмерная неизвестная скорость волны,  $\tau$  – внутренняя переменная, а зависимые переменные представлены в виде разложения по малому параметру  $\varepsilon$ :

$$u_1^{(i)} = u_{10}^{(i)} + \varepsilon u_{11}^{(i)} + \dots, \quad u_3^{(i)} = u_{30}^{(i)} + \varepsilon u_{31}^{(i)} + \dots \quad (9)$$

Подставляя (6), (8), (9) в уравнения (4) с учетом оценок (7), получим в нулевом приближении по  $\varepsilon$  линейную систему уравнений, из которой следует связь

$$\frac{w_m l}{u_m R^{(i)}} u_{30}^{(i)} = \mu_0 \frac{\partial u_{10}^{(i)}}{\partial \xi} \quad (10)$$

и определяется безразмерная скорость волны

$$c^2 = 1 - \mu_0^2. \quad (11)$$

Из следующего приближения по  $\varepsilon$ , учитывая (10) и (11), находится система уравнений, являющихся составными для  $u_{10}^{(i)}$ :

$$\begin{aligned} &\frac{\partial^2 u_{10}^{(i)}}{\partial \xi \partial \tau} + \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{R^{(i)}}{l} \right)^2 \frac{\mu_0^2 \sqrt{1 - \mu_0^2}}{2} \frac{\partial^4 u_{10}^{(i)}}{\partial \xi^4} - \\ &- \frac{2m}{E\varepsilon} \left( \frac{u_m}{l} \right)^2 (1 - \mu_0 + \mu_0^2) \sqrt{1 - \mu_0^2} \left( \frac{\partial u_{10}^{(i)}}{\partial \xi} \right)^2 \frac{\partial^2 u_{10}^{(i)}}{\partial \xi^2} = \\ &= - \frac{l^2}{\varepsilon u_m \rho_0 h_0^{(i)} c_0^2} \frac{1}{2\sqrt{1 - \mu_0^2}} \left[ q_x^{(i)} - \mu_0 \frac{R^{(i)}}{l} \frac{\partial q_n}{\partial \xi} (-1)^{i-1} \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

В случае отсутствия жидкости правая часть уравнений (12) равна нулю и система распадается на два одинаковых уравнения, представляющих модифицированные уравнения Кортевега – де Вриза для

$$\frac{\partial u_{10}^{(i)}}{\partial \xi} = \frac{w_m l}{\mu_0 u_m R^{(i)}} u_{30}^{(i)}.$$

Для определения правой части уравнения (12) введем безразмерные переменные и параметры

$$\begin{aligned} V_r &= w_m \frac{c_0}{l} v_r, \quad V_x = w_m \frac{c_0}{R_1} v_x, \quad r^* = \frac{r - R_2}{\delta}, \quad t^* = \frac{c_0}{l} t, \quad x^* = \frac{x}{l}, \quad p = \frac{\rho v c_0 l w_m}{\delta^3} P; \\ \psi &= \frac{\delta}{R_2} = o(1), \quad \lambda = \frac{w_m}{\delta} = \frac{w_m R_2}{R_2 \delta} = O\left(\frac{\varepsilon}{\psi}\right), \\ \frac{\delta}{l} &= \frac{\delta}{R_2} \frac{R_2}{l} = \psi \frac{R_2}{l} = 1, \quad \psi \ll 1, \quad \lambda \ll 1. \end{aligned} \quad (13)$$

Подставляя (13) в уравнения гидродинамики (1) и граничные условия (2), представим безразмерные скорость и давление в виде разложения по малому параметру  $\lambda$ :

$$v_x = v_x^0 + \lambda v_x^1 + \dots, \quad v_r = v_r^0 + \lambda v_r^1 + \dots, \quad P = P^0 + \lambda P^1 + \dots \quad (14)$$

В нулевом приближении по  $\psi$  ( $\delta/l \approx 0$  – гидравлическая теория смазки), считая  $(\delta/l)(\delta c_0/v) \ll 1$  (ползущие течения), и в нулевом приближении по  $\lambda$  получаем уравнения гидродинамики (классические уравнения гидродинамической теории смазки)

$$\frac{\partial P^0}{\partial r^*} = 0, \quad \frac{\partial P^0}{\partial x^*} = \frac{\partial^2 v_x^0}{\partial r^{*2}}, \quad \frac{\partial v_r^0}{\partial r^*} + \frac{\partial v_x^0}{\partial x^*} = 0 \quad (15)$$

и граничные условия

$$\begin{aligned} v_r^0 &= -\frac{\partial u_3^{(1)}}{\partial t^*}, \quad v_x^0 = 0 \quad \text{ïðå} \quad r^* = 1, \\ v_r^0 &= -\frac{\partial u_3^{(2)}}{\partial t^*}, \quad v_x^0 = 0 \quad \text{ïðå} \quad r^* = 0. \end{aligned} \tag{16}$$

Из решения задачи (15), (16) следует, что

$$\begin{aligned} P^0 &= 12 \int \left[ \int \left( \frac{\partial u_3^{(2)}}{\partial t^*} - \frac{\partial u_3^{(1)}}{\partial t^*} \right) dx^* \right] dx^*, \\ \left[ \frac{\partial v_x^0}{\partial r^*} \right]_{r^*=1} &= 6 \int \left( \frac{\partial u_3^{(2)}}{\partial t^*} - \frac{\partial u_3^{(1)}}{\partial t^*} \right) dx^*, \\ \left[ \frac{\partial v_x^0}{\partial r^*} \right]_{r^*=0} &= 6 \int \left( \frac{\partial u_3^{(1)}}{\partial t^*} - \frac{\partial u_3^{(2)}}{\partial t^*} \right) dx^*. \end{aligned} \tag{17}$$

Учитывая, что были введены переменные (8), (9), и имея соотношения (10) и (11), из (17) получим

$$P^0 = 12\sqrt{1-\mu_0^2} \int (u_{30}^{(1)} - u_{30}^{(2)}) d\xi = 12\mu_0\sqrt{1-\mu_0^2} \frac{u_m}{w_m l} (R^{(1)}u_{10}^{(1)} - R^{(2)}u_{10}^{(2)}). \tag{18}$$

С принятой точностью по  $\varepsilon, \psi, \lambda$  из (5) найдем

$$q_x^{(i)} = \left[ \rho v \frac{w_m c_0}{\delta^2} \frac{\partial v_x^0}{\partial r^*} \right]_{r^*=1,0}, \quad q_n = -\rho v \frac{w_m c_0}{\delta^2} \frac{l}{\delta} P, \quad \frac{q_x^{(i)}}{q_n} = O\left(\frac{\delta}{l}\right)$$

и, следовательно,  $q_x^{(i)} \ll q_n$  и в правой части уравнения (12) остается выражение

$$6\mu_0^2 \frac{\rho l}{\rho_0 h_0^{(i)}} \frac{v}{\delta c_0 \varepsilon} \left[ \frac{R^{(i)} R^{(2)} \partial u_{10}^{(2)}}{\delta^2 \partial \xi} - \frac{R^{(i)} R^{(1)} \partial u_{10}^{(1)}}{\delta^2 \partial \xi} \right] (-1)^{i-1}. \tag{19}$$

С принятой точностью по  $\psi, \varepsilon$  положим

$$R^{(1)} \approx R^{(2)} = R, \quad h_0^{(1)} \approx h_0^{(2)} = h_0.$$

Подставляя (19) в уравнение (12), окончательно получим

$$\begin{aligned} &\frac{\partial^2 u_{10}^{(i)}}{\partial \xi \partial \tau} + \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{R}{l} \right)^2 \frac{\mu_0^2 \sqrt{1-\mu_0^2}}{2} \frac{\partial^4 u_{10}^{(i)}}{\partial \xi^4} - \\ &- \frac{2m}{E\varepsilon} \left( \frac{u_m}{l} \right)^2 (1-\mu_0 + \mu_0^2) \sqrt{1-\mu_0^2} \left( \frac{\partial u_{10}^{(i)}}{\partial \xi} \right)^2 \frac{\partial^2 u_{10}^{(i)}}{\partial \xi^2} - \\ &- 6\mu_0^2 \frac{\rho l}{\rho_0 h_0} \frac{v}{\delta c_0 \varepsilon} \left( \frac{R}{\delta} \right)^2 \left( \frac{\partial u_{10}^{(1)}}{\partial \xi} - \frac{\partial u_{10}^{(2)}}{\partial \xi} \right) (-1)^i = 0. \end{aligned} \tag{20}$$

Легко видеть, что замена

$$\frac{\partial u_{10}^{(1)}}{\partial \xi} = c\varphi^{(1)}, \quad \frac{\partial u_{10}^{(2)}}{\partial \xi} = c\varphi^{(2)}, \quad \eta = c_1 \xi, \quad t = c_2 \tau \tag{21}$$

позволяет записать систему уравнений (20) в виде

$$\varphi^{(i)}_{,t} + \varphi^{(i)}_{,\eta\eta\eta} - 6\varphi^{(i)2} \varphi^{(i)}_{,\eta} - (\varphi^{(1)} - \varphi^{(2)}) (-1)^i = 0. \tag{22}$$

Постоянные  $c, c_1, c_2$  определяются при подстановке (21) в (20) и имеют вид

$$c_2 = 6\mu_0^2 \frac{\rho l}{\rho_0 h_0} \frac{v}{\delta c_0 \varepsilon} \left( \frac{R}{\delta} \right)^2, \quad c_1 = \left[ c_2 \varepsilon \left( \frac{l}{R} \right)^2 \frac{2}{\mu_0^2 \sqrt{1-\mu_0^2}} \right]^{1/3}, \quad c = \left[ 3 \frac{E}{2m} \frac{R^2}{u_m^2} \frac{\mu_0^2}{1-\mu_0 + \mu_0^2} \right]^{1/2} c_1.$$



В случае отсутствия жидкости последние два слагаемых  $(\varphi^{(1)} - \varphi^{(2)})$  в уравнениях (22) исчезают и система распадается на два независимых уравнения МКдВ (модифицированные уравнения Кортевега – де Вриза) и имеет точное частное решение в виде кинк – антикинк

$$\varphi = \pm k \tanh(k\eta + 2k^3t). \tag{23}$$

Эти решения при  $t = 0$  можно взять в качестве начальных условий при решении задачи Коши для системы уравнений (22).

**3. Компьютерное моделирование.** Метод конечных объёмов сводится к дискретизации исходных уравнений, представленных в интегральной форме, в противоположность методу конечных разностей, который обычно применяется к исходным уравнениям в их дифференциальной форме. При этом если исходная система обладала законами сохранения, построенная разностная схема будет обладать хорошими консервативными свойствами просто по построению. Кроме того, при этом подходе упрощается вывод разностных соотношений на границах вычислительной области.

Если исходные уравнения содержат производные выше первого порядка, то метод конечных объёмов нуждается в модификации. Это модификация получила название интегро-интерполяционного метода, недостатками которого являются отход от работы только с интегральными соотношениями и прямая замена производных их конечными разностями. Если на этом этапе добавить интегральные соотношения, связывающие искомые функции с их производными, а затем использовать алгоритм Бухбергера построения базисов Грёбнера или инволютивный алгоритм, то можно получить соотношения, связывающие только искомые функции [2, 8].

Запишем уравнение (22) в интегральной форме

$$\oint_{\partial\Omega} (2\varphi^{(i)3} - \varphi^{(i)}_{\eta\eta}) dt + \varphi^{(i)} d\eta - \iint_{\Omega} (\varphi^{(1)} - \varphi^{(2)}) (-1)^i dt d\eta = 0 \tag{24}$$

для любой области  $\Omega$ . Для перехода к дискретной формулировке сопоставим  $u^{(i)j}_n = \varphi^{(i)}(t_n, \eta_j)$  и выберем в качестве базового контур, показанный на рис. 1.

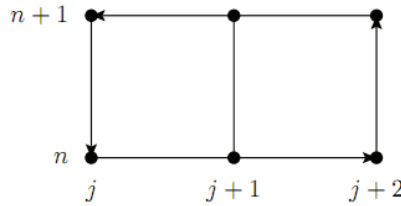


Рис. 1. Базовый контур для уравнения (24)

Добавим интегральные соотношения

$$\begin{aligned} \int_{\eta_j}^{\eta_{j+1}} u^{(i)}_{\eta} d\eta &= u^{(i)}(t, \eta_{j+1}) - u^{(i)}(t, \eta_j), \\ \int_{\eta_j}^{\eta_{j+1}} u^{(i)}_{\eta\eta} d\eta &= u^{(i)}_{\eta}(t, \eta_{j+1}) - u^{(i)}_{\eta}(t, \eta_j). \end{aligned} \tag{25}$$

Используя для интегрирования по времени и по четным производным по  $\eta$  формулу трапеций, а по нечетным производным по  $\eta$  – формулу среднего значения и полагая  $t_{n+1} - t_n = \tau$ ,  $\eta_{j+1} - \eta_j = h$ , перепишем соотношения (24), (25) в виде

$$\begin{aligned} &\left( \left( 2u^{(i)3n}_j + 2u^{(i)3n+1}_j - 2u^{(i)3n}_{j+2} - 2u^{(i)3n+1}_{j+2} \right) - \right. \\ &\left. - \left( u^{(i)}_{\eta\eta}_j + u^{(i)}_{\eta\eta}_{j+1} - u^{(i)}_{\eta\eta}_{j+2} - u^{(i)}_{\eta\eta}_{j+2} \right) \right) \cdot \frac{\tau}{2} + \\ &+ (u^{(i)n+1}_{j+1} - u^{(i)n}_{j+1}) \cdot 2h - (u^{(i)n+1}_{j+1} + u^{(i)n}_{j+1}) (-1)^i \cdot h\tau = 0, \\ &(u^{(i)n}_{\eta_{j+1}} + u^{(i)n}_{\eta_j}) \cdot \frac{h}{2} = u^{(i)n}_{j+1} - u^{(i)n}_j, \\ &u^{(i)n}_{\eta_{j+1}} \cdot 2h = u^{(i)n}_{\eta_{j+2}} - u^{(i)n}_{\eta_j}. \end{aligned}$$

Вводя сеточные операторы сдвига  $\theta_t, \theta_\eta$  по переменным  $t, \eta$  соответственно, запишем уравнения в операторной форме:

$$\begin{aligned} & -(1 + \theta_t - \theta_\eta^2 - \theta_t \theta_\eta^2) \circ (-3u^{(i)2} + u^{(i)}_{\eta\eta}) \cdot \frac{\tau}{2} + \\ & + (\theta_\eta \theta_t - \theta_\eta) \circ u^{(i)} \cdot 2h - (\theta_\eta \theta_t + \theta_\eta) \circ u^{(i)} (-1)^i \cdot h\tau = 0, \\ & (\theta_\eta + 1) \circ u^{(i)}_\eta \cdot \frac{h}{2} = (\theta_\eta - 1) \circ u^{(i)}, \\ & \theta_\eta \circ u^{(i)}_{\eta\eta} \cdot 2h = (\theta_\eta^2 - 1) \circ u^{(i)}_\eta. \end{aligned}$$

Выбирая допустимое лексикографическое упорядочение сначала по функциям  $u^{(1)}_{\eta\eta} \succ u^{(2)}_{\eta\eta} \succ u^{(1)}_\eta \succ u^{(2)}_\eta \succ u^{(1)} \succ u^{(2)}$ , затем по переменным  $\theta_t \succ \theta_\eta$ , можно построить базис Грёбнера или инволютивный базис [8]. В результате получим в качестве отдельных элементов авторедуцированного базиса Грёбнера следующие разностные схемы для уравнений (22), аналогичные схеме Кранка-Николсона для уравнения теплопроводности

$$\begin{aligned} & \frac{u^{(i)j+1}_j - u^{(i)j}_j}{\tau} - 2 \frac{(u^{(i)3j+1}_{j+1} - u^{(i)3j+1}_{j-1}) + (u^{(i)3j}_{j+1} - u^{(i)3j}_{j-1})}{4h} + \\ & + \frac{(u^{(i)j+2}_{j+2} - 2u^{(i)j+1}_{j+1} + 2u^{(i)j}_{j-1} - u^{(i)j+1}_{j-2}) + (u^{(i)j}_{j+2} - 2u^{(i)j}_{j+1} + 2u^{(i)j}_{j-1} - u^{(i)j}_{j-2})}{4h^3} - \\ & - \frac{u^{(i)j+1}_j + u^{(i)j}_j}{2} (-1)^i = 0. \end{aligned}$$

Полученные неявные разностные схемы имеют кубическую нелинейность для следующего временного слоя. При построении решения использована следующая линеаризация:

$$v_{k+1}^3 = v_{k+1}^3 - v_k^3 + v_k^3 = (v_{k+1} - v_k)(v_{k+1}^2 + v_{k+1}v_k + v_k^2) + v_k^3 \approx v_{k+1} \cdot 3v_k^2 - 2v_k^3.$$

Шаг по времени  $t$  брался равным половине шага по переменной  $\eta$ . Программа расчёта была написана на языке Python с использованием пакета SciPy [9] и занимает около 150 строк, включая сам расчёт и построение графиков.

Результаты проведённого компьютерного моделирования представлены на рис. 2, 3 и позволяют сделать следующие выводы. В первом случае отсутствие жидкости между оболочками приводит к возникновению волны деформации (кинк) только во внешней оболочке, а во внутренней оболочке, как и в начальный момент, деформация равняется нулю (см. рис. 2).

Наличие жидкости между оболочками приводит к возникновению волны деформации и во внутренней оболочке, в которой в начальный момент деформации равнялись нулю (см. рис. 3).

Это процесс происходит за счёт «перекачки» энергии (через слой жидкости) от волны (кинк) во внешней оболочке и сопровождается падением амплитуды волны во внешней оболочке и, как следствие, снижением скорости её распространения.

В результате во внешней и внутренней оболочках устанавливается волна деформации постоянной амплитуды и скорости распространения.

Проведенное моделирование позволяет сделать вывод, что рассматриваемая механическая система начинает вести себя как единый трёхслойный пакет с двумя несущими слоями (внешняя и внутренняя оболочки), по которым распространяются волны деформации, и заполнителя – слоя вязкой несжимаемой жидкости.

#### 4. Заключение

Проведенное моделирование с использованием компьютерной алгебры позволило выявить особенности поведения волн деформаций в физически нелинейных упругих соосных цилиндрических оболочках, содержащих вязкую несжимаемую жидкость между ними.

Использование базиса Грёбнера для генерации разностной схемы при численном решении задачи Коши для системы двух нелинейных уравнений в частных производных третьего порядка по пространственной переменной позволило получить результат расчета без осцилляций, вызываемых численной реализацией. Численная схема была протестирована на точном решении при отсутствии жидкости (см. рис. 2).

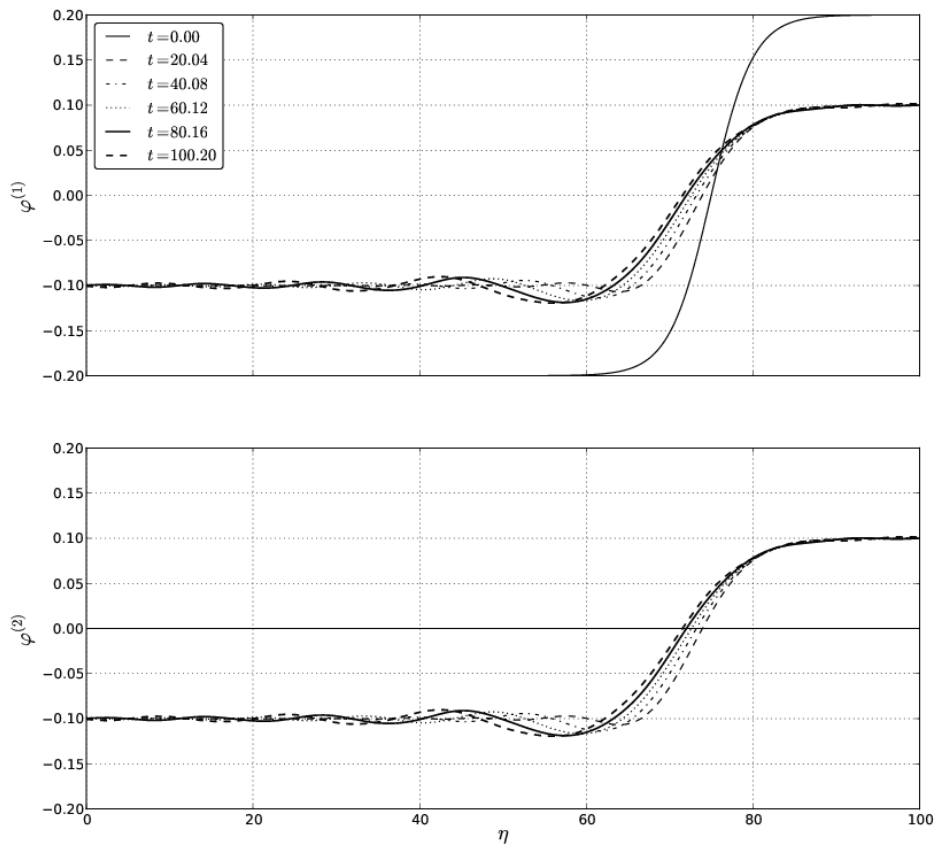


Рис. 2. График численного решения уравнений (22) при отсутствии жидкости и с начальным условием (23) для  $\varphi^{(1)}$  с  $k = 0.2$ , и для  $\varphi^{(2)} = 0.0$

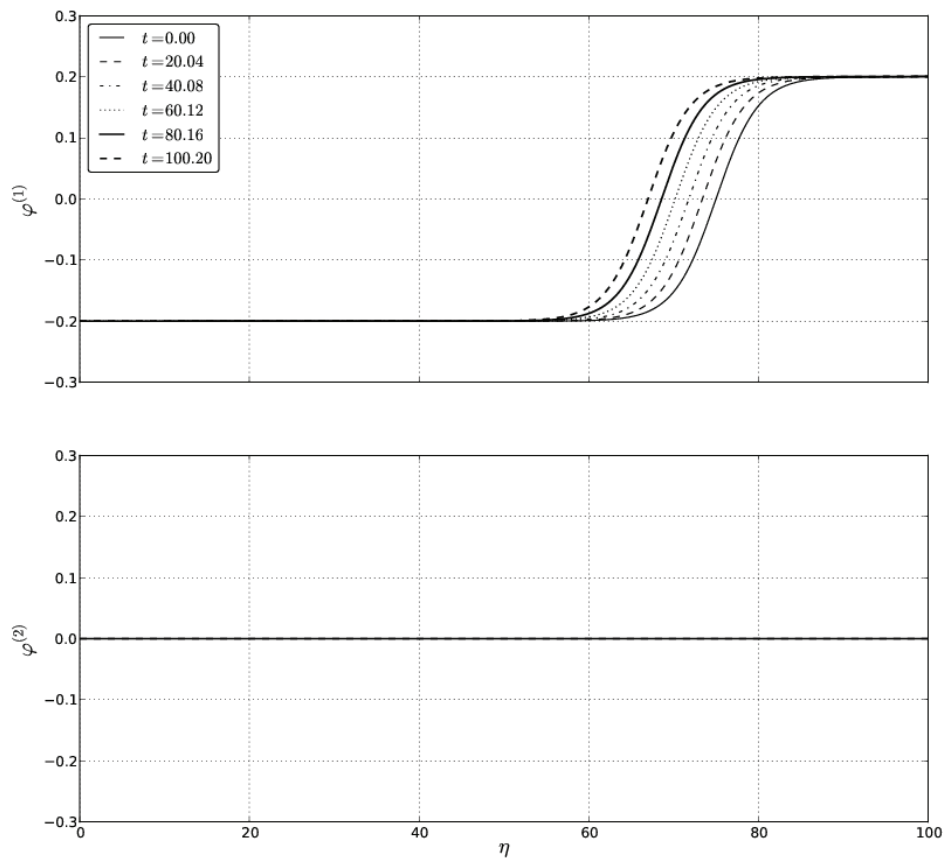


Рис. 3. График численного решения уравнений (22) при наличии жидкости и с начальным условием (23) для  $\varphi^{(1)}$  с  $k = 0.2$ , и для  $\varphi^{(2)} = 0.0$

Полученный расчет показал влияние вязкой несжимаемой жидкости на поведение нелинейной волны деформации в соосных оболочках (см. рис. 3). В результате возникает нелинейная волна деформации во внутренней оболочке, в которой ее не было в начальный момент времени и амплитуды волн деформации в соосных оболочках со временем начинают совпадать. Эти амплитуды в два раза меньше исходной амплитуды волны деформации внешней оболочки в начальный момент времени.

Эту конструкцию можно толковать как трехслойный пакет, заполнителем которого является жидкость.

В заключение приношу благодарность профессору Л. И. Могилевичу за постановку задачи и внимание к работе.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-01-00049а.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Buchberger B. Groebner bases and applications / B. Buchberger, F. Winkler // London Mathematical Society Lecture Notes Series. Cambridge University Press, 1998. Vol. 251. P. 552.
2. Gerdt V.P. Groebner bases and generation of difference schemes for partial differential equations / V.P. Gerdt, Yu.A. Blinkov, V.V. Mozhilkin // Symmetry, Integrability and Geometry: Methods and Applications. 2006. Vol. 2. P. 26. <http://www.emis.de/journals/SIGMA/2006/Paper051/index.html>.
3. Землянухин А.И. Нелинейные волны деформаций в цилиндрических оболочках / А.И. Землянухин, Л.И. Могилевич // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1995. Т. 3. № 1. С. 52-58.
4. Землянухин А.И. Нелинейные волны в цилиндрических оболочках: солитоны, симметрии, эволюция / А.И. Землянухин, Л.И. Могилевич. Саратов: СГТУ, 1999. С. 132.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. М.: Дрофа, 2003. С. 840.
6. Каузерер К. Нелинейная механика / К. Каузерер. М.: Иностран. лит., 1961. С. 240.
7. Вольмир А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа: задачи гидроупругости / А.С. Вольмир. М.: Наука, 1979. С. 320.
8. Блинков Ю.А. Генерация разностных схем для уравнения Бюргера построением базисов Грёбнера / Ю.А. Блинков, В.В. Мозжилкин // Программирование. 2006. Т. 32. № 2. С. 71-74.
9. SciPy. <http://www.scipy.org/>

**Ковалева Ирина Александровна** – аспирант кафедры «Теплогасоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Irina A. Kovaleva** – Postgraduate Department of heat and gas supply, ventilation, water supply and applied fluid dynamics, Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 12.07.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 539.3

**Н.В. Овчинникова, Ю.В. Чеботаревский**

#### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МНОЖИТЕЛЕЙ ЛАГРАНЖА К РЕШЕНИЮ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДЕФОРМИРУЕМОЙ СРЕДЫ С ОТНОСИТЕЛЬНО ЖЕСТКИМ ИНДЕНТОРОМ**

*Рассматривается контактная задача о напряженно-деформированном состоянии континуума «индентор – контактирующая с ним среда» с учетом искривления поверхности контакта в процессе деформирования. С помощью метода множителей Лагранжа исследование его напряженно-деформированного состояния сводится к поиску полей скоростей или полей ускорений движения точек континуума, удовлетворяющих нестрогому вариационному равенству, полученному для произвольной геометрической формы деформирующихся контактных поверх-*

ностей и без наложения каких-либо ограничений на геометрические соотношения и физические уравнения материалов тел, его образующих.

Напряженно-деформированное состояние, нестрогое вариационное равенство, метод множителей Лагранжа

N.V. Ovchinnikova, Yu.V. Chebotarevsky

## APPLICATION OF LAGRANGE MULTIPLIER METHOD TO ANALYSE THE CONTACT INTERACTION BETWEEN DEFORMABLE MEDIUM AND RELATIVELY STIFF INDENTER

*The contact problem for strain-stress analysis of continuum “indenter – deformable medium” is formulated with consideration of the deformed surfaces curvature. The Lagrange multiplier method is employed to conduct further strain-stress analysis of continuum by searching velocity or acceleration fields from variational inequality that was derived without specifying definite geometrical form of the deformed contact interfaces, strain-displacement relations and constitutive equations for materials of bodies constituting the continuum.*

Contact interaction, deflected mode, variational inequality, Lagrange multiplier method

Исследование механических процессов, происходящих в обрабатываемом материале при локальном взаимодействии с рабочим инструментом, во многих технологических процессах может быть сведено к решению контактных задач о взаимодействии относительно жесткого индентора с деформируемой средой [1]. Получение аналитических решений в задачах такого типа при неупругом поведении материалов тел, образующих континуум «индентор – среда», в динамической постановке ввиду непреодолимых математических трудностей невозможно. Поэтому возникает необходимость разработки различных подходов к решению подобного рода задач с применением упрощающих допущений и численных методов исследования.

В данной работе в качестве упрощенного подхода предлагается замена исходной задачи в классической постановке [1] её вариационным аналогом, получаемым на основе вариационного принципа Даламбера – Лагранжа с применением метода множителей Лагранжа на основе математической модели, предложенной в работах [1-3]. Согласно этой модели в окрестностях локальной зоны контакта в обрабатываемой среде выделим некоторый объем в виде кругового цилиндра высоты  $h_2$  и радиуса  $R_2$ , к центру одной из торцевых поверхностей которого прикладывается рабочий инструмент в виде индентора со сферической рабочей поверхностью. Силовое воздействие рабочего органа на материал среды будем моделировать путем приложения к индентору направленного вдоль общей оси симметрии индентора и цилиндра динамического усилия  $F(t)$ , где  $t$  – время. Будем полагать, что деформации материалов среды и индентора в процессе их взаимодействия являются малыми и что твердость материала рабочей поверхности индентора значительно выше твердости обрабатываемого материала. Возникающими при контакте силами трения и выделяемой при взаимодействии контактирующих тел теплотой будем пренебрегать, считая процесс деформирования изотермическим.

Отнесем цилиндр и индентор к цилиндрической системе координат  $O r \theta z$ , расположив ее начало в центральной точке контактной поверхности и направив ось  $z$  вдоль общей оси симметрии индентора и цилиндра в глубь среды. Обозначим через  $v_r^l, v_z^l$  и  $\delta v_r^l, \delta v_z^l$  ( $l = I, II$ ) – составляющие вектора скорости движения точек континуума и их вариации соответственно, а через  $\sigma_{ij}^l(i, j = r, \theta, z)$  ( $l = I, II$ ) – компоненты тензора напряжений, где  $l = I$  означает, что соответствующая величина относится к индентору, а  $l = II$  – к среде. Если условия закрепления индентора будут таковы, что он сможет иметь только возвратно-поступательные перемещения вдоль оси  $Oz$ , то задача о напряженно-деформированном состоянии континуума при сформулированных выше допущениях будет осесимметричной, а граница области контакта будет иметь форму окружности некоторого радиуса  $a$ .

Введем в рассмотрение на площадках поверхностей возможного контакта, перпендикулярных к их общей нормали  $\bar{n}^l$ , вектор напряжений  $\bar{\sigma}^l$  ( $l = I, II$ ). Учитывая, что при сделанном допущении об отсутствии сил трения на поверхности контакта касательная составляющая этого вектора  $\sigma_{n\tau}^l$  равна нулю, представим его следующим образом:

$$\bar{\sigma}^l = \sigma_{nn}^l \bar{n}^l = -\lambda^l \frac{\text{grad}[\tilde{\chi}^l(r, z, t)]}{|\text{grad}[\tilde{\chi}^l(r, z, t)]|} \quad (l = I, II), \quad (1)$$

где

$$\tilde{\chi}_l(r, z, t) = z - \chi_l(r, t) = 0, \quad (2)$$

$$|\text{grad}[\tilde{\chi}^l(r, z, t)]| = \sqrt{\left[\frac{\partial \tilde{\chi}_l}{\partial r}\right]^2 + \left[\frac{\partial \tilde{\chi}_l}{\partial z}\right]^2}. \quad (3)$$

В уравнения контактных поверхностей (2) и выражения (3) входят пока неопределенные функции  $\chi_l(r, t)$  и множители Лагранжа  $\lambda^l$  ( $l = I, II$ ).

Нормальные и касательные компоненты вектора напряжений на площадках, перпендикулярных внешним нормальям деформированных поверхностей индентора и среды в области контакта и её окрестностях, связаны с компонентами тензора напряжений  $\sigma_{ij}^l$  ( $i, j = r, \theta, z$ ) ( $l = I, II$ ) известными соотношениями [4]:

$$\begin{aligned} \sigma_{nn}^l &= n_z^l (\sigma_{zz}^l n_z^l + \sigma_{zr}^l n_r^l) + n_r^l (\sigma_{rz}^l n_z^l + \sigma_{rr}^l n_r^l); \quad (l = I, II) \\ \sigma_{n\tau}^l &= n_z^l (\sigma_{rz}^l n_z^l + \sigma_{rr}^l n_r^l) - n_r^l (\sigma_{zz}^l n_z^l + \sigma_{zr}^l n_r^l). \quad (l = I, II) \end{aligned} \quad (4)$$

Входящие в соотношения (4) направляющие косинусы  $n_r^l$  и  $n_z^l$  главных внешних нормалей  $\bar{n}^I$  и  $\bar{n}^{II}$  деформированных поверхностей индентора и среды, включая и область контакта, с учетом (2) определяются по формулам [5]:

$$n_r^l = (-1)^{l+1} \frac{\frac{\partial \tilde{\chi}_l}{\partial r}}{\sqrt{\left[\frac{\partial \tilde{\chi}_l}{\partial r}\right]^2 + \left[\frac{\partial \tilde{\chi}_l}{\partial z}\right]^2}}; \quad n_z^l = (-1)^{l+1} \frac{\frac{\partial \tilde{\chi}_l}{\partial z}}{\sqrt{\left[\frac{\partial \tilde{\chi}_l}{\partial r}\right]^2 + \left[\frac{\partial \tilde{\chi}_l}{\partial z}\right]^2}} \quad (l = I, II). \quad (5)$$

Очевидно, что по закону равенства действия и противодействия в любой точке поверхности контакта векторы напряжений  $\bar{\sigma}^l$  ( $l = I, II$ ) должны быть равны по величине и противоположны направлению:

$$\bar{\sigma}^I = -\bar{\sigma}^{II}. \quad (0 \leq r \leq a) \quad (6)$$

Кроме того, в области контакта и её окрестностях в силу физического смысла должно выполняться требование  $\sigma_{nn}^l \leq 0$  ( $l = I, II$ ) и условие непроникновения [3]:

$$\gamma_n = v_n^I + v_n^{II} \leq 0, \quad (7)$$

где  $v_n^l$  – составляющие векторов скорости принадлежащих индентору и среде точек возможного контакта в направлении соответствующей нормали. Нормальные  $v_n^l$  и касательные  $v_\tau^l$  составляющие векторов скоростей этих точек связаны с проекциями скорости на оси системы координат  $Orz$  соотношениями [4]:

$$\begin{aligned} v_n^l &= v_r^l n_r^l + v_z^l n_z^l \quad (l = I, II), \\ v_\tau^l &= -v_r^l n_z^l + v_z^l n_r^l, \end{aligned} \quad (8)$$

Варьируя (7), имеем

$$\delta\gamma_n = \delta v_n^I + \delta v_n^{II} \leq 0. \quad (9)$$

Проецируя (6) на направление общей нормали к поверхности контакта с учетом (1), получаем

$$\sigma_{nn}^I = \sigma_{nn}^{II} = -\lambda. \quad (10)$$

Умножая (10) на (9) и интегрируя затем полученное выражение по поверхности контакта  $\Gamma_c$ , находим

$$\iint_{\Gamma_c} \lambda (\delta v_n^I + \delta v_n^{II}) d\Gamma_c = 2\pi \int_0^a \frac{1}{n_z^I} \lambda (\delta v_n^I + \delta v_n^{II}) r dr = -2\pi \int_0^a \frac{1}{n_z^{II}} \lambda (\delta v_n^I + \delta v_n^{II}) r dr = 0, \quad (11)$$

При записи соотношения (11) использовались известные формулы преобразования поверхностного интеграла первого типа [6], принимались во внимание уравнения контактной поверхности (2) и выражения для направляющих косинусов (5), а также учитывалось, что везде внутри области контакта

$$\delta \gamma_n = \delta v_n^I + \delta v_n^{II} = 0. \quad (12)$$

Вариационное уравнение, описывающее движение континуума без учета «условия непроникновения» (7) для поставленной выше задачи получено в [3] в виде

$$\delta \Phi(r, z, t) = \int_0^{R_2} \int_{\chi_{II}(r,t)}^{h_2} f^{II} r dz dr + \int_0^{R_I} \int_{\chi_I(R_I,t)-h_1}^{\chi_I(r,t)} f^I r dz dr - \int_0^{R_I} \delta v_z^I p r dr = 0, \quad (13)$$

где

$$f^l(r, z, t) = \sigma_{rr}^l \frac{\partial}{\partial r} (\delta v_r^l) + \delta v_r^l \frac{\sigma_{\theta\theta}^l}{r} + \sigma_{rz}^l \frac{\partial}{\partial z} (\delta v_r^l) + \delta v_r^l \rho^l \frac{d v_r^l}{dt} \quad (l = I, II) \quad (14)$$

$$+ \sigma_{zz}^l \frac{\partial}{\partial z} (\delta v_z^l) + \sigma_{zr}^l \frac{\partial}{\partial r} (\delta v_z^l) + \delta v_z^l \rho^l \frac{d v_z^l}{dt},$$

$p(t)$  – равномерно распределенная нагрузка по верхней торцевой поверхности индентора, эквивалентная приложенной к нему сосредоточенной силе

$$F(t) = 2\pi \int_0^{R_I} p(t) r dr.$$

Для того чтобы учесть «условие непроникновения» (7) непосредственно в уравнении движения континуума (13), проведем следующие преобразования. Используя (11), добавим в левую часть (13) дополнительное слагаемое, эквивалентное нулю, а именно

$$\delta \Phi(r, z, t) = \int_0^{R_I} \int_{\chi_I(R_I,t)-h_1}^{\chi_I(r,t)} f^I r dz dr + \int_0^{R_2} \int_{\chi_{II}(r,t)}^{h_2} f^{II} r dz dr - \int_0^{R_I} \delta v_z^I p r dr +$$

$$+ \int_0^a \frac{I}{n_z^I} \lambda (\delta v_n^I + \delta v_n^{II}) r dr = 0. \quad (15)$$

Преобразуя последнее слагаемое в уравнении (15) следующим образом:

$$\int_0^a \frac{I}{n_z^I} \lambda (\delta v_n^I + \delta v_n^{II}) r dr = \int_0^a \frac{I}{n_z^I} \delta [\lambda (v_n^I + v_n^{II})] r dr - \int_0^a \frac{I}{n_z^I} \delta \lambda (v_n^I + v_n^{II}) r dr, \quad (16)$$

перепишем (15) так:

$$\int_0^{R_I} \int_{\chi_I(R_I,t)-h_1}^{\chi_I(r,t)} f^I r dz dr + \int_0^{R_2} \int_{\chi_{II}(r,t)}^{h_2} f^{II} r dz dr - \int_0^{R_I} \delta v_z^I p r dr +$$

$$+ \int_0^a \frac{I}{n_z^I} \delta [\lambda (v_n^I + v_n^{II})] r dr = \int_0^a \frac{I}{n_z^I} \delta \lambda (v_n^I + v_n^{II}) r dr. \quad (17)$$

Так как напряжения  $\sigma_{nn}^l$  ( $l = I, II$ ) на площадках касательных к поверхности возможного контакта всегда в силу физического смысла должны быть сжимающими или равными нулю, из (10)

следует, что множитель  $\lambda$  всегда во всех точках этой поверхности должен быть либо положительным, либо равным нулю, причем знак вариации множителя  $\lambda$  в каждый момент времени будет зависеть от характера движения индентора – его внедрения в среду или отхода от неё. Для определенности будем считать, что в данный момент времени происходит процесс внедрения индентора в среду, при котором напряжения  $\sigma_{nn}^l$  ( $l = I, II$ ) возрастают по абсолютной величине. Варьируя (10) и учитывая, что при внедрении индентора в среду  $\delta\sigma_{nn}^l \geq 0$  ( $l = I, II$ ), имеем

$$\delta\sigma_{nn}^l = -\delta\lambda \geq 0, \tag{18}$$

откуда следует, что вариация  $\delta\lambda$  при этом должна быть или меньше, или равна нулю, а именно

$$\delta\lambda \leq 0. \tag{19}$$

В силу «условия непроникновения» (7) сомножитель в подынтегральном выражении в правой части (17)  $(v_n^I + v_n^{II}) \leq 0$ , Принимая это во внимание, а также (19), приходим к выводу, что

$$\int_0^a \frac{1}{n_z} \delta\lambda (v_n^I + v_n^{II}) r dr \geq 0. \tag{20}$$

С учетом (20) на основании (17) окончательно получаем

$$\int_0^{R_I} \int_{\chi_I(R_I, t) - h_I}^{\chi_I(r, t)} f^I r dz dr + \int_0^{R_2} \int_{\chi_{II}(r, t)}^{h_2} f^{II} r dz dr - \int_0^{R_I} \delta v_z^I p r dr + \int_0^a \frac{1}{n_z} \delta[\lambda (v_n^I + v_n^{II})] r dr \geq 0. \tag{21}$$

Таким образом, с применением множителей Лагранжа и одного из численных методов исследование напряженно-деформированного состояния континуума в вариационной постановке может быть сведено к отысканию поля скоростей и поля напряжений, удовлетворяющих нестрогому равенству (21). Однако в соотношении (21) входят пока неопределенные направляющие косинусы  $n_r^l$  и  $n_z^l$ . Определим их значения через искомые радиальную и осевую составляющие вектора перемещений точек континуума  $u_r^l$  и  $u_z^l$  ( $l = I, II$ ). С этой целью выразим текущие координаты любой точки континуума в процессе деформирования через их начальные значения  $r_H$  и  $z_H$  следующим образом:

$$\begin{aligned} r &= r_H + u_r^l(r_H, z_H, t); \quad (l = I, II) \\ z &= z_H + u_z^l(r_H, z_H, t), \end{aligned} \tag{22}$$

где  $t$  – момент времени, в который эти текущие координаты определяются.

Если в соотношениях (22) за начальные принять значения, соответствующие координатам точек недеформированных поверхностей индентора и среды в области и окрестностях возможного контакта, то получаемые при этом соотношения можно рассматривать как уравнения их деформированных поверхностей в параметрической форме. К сожалению, получить исходя из этих зависимостей уравнения этих поверхностей в явном виде (2) не представляется возможным. Однако, используя соотношения (22), можно выразить производные от левых частей уравнений (2), входящие в выражения для направляющих косинусов (5), через искомые компоненты вектора перемещений точек континуума, лежащих на поверхностях возможного контакта. Вычисляя полные дифференциалы от функций (22), имеем

$$\begin{aligned} dr &= dr_H + \frac{\partial u_r^l}{\partial r_H} dr_H + \frac{\partial u_r^l}{\partial z_H} dz_H \quad (l = I, II) \\ dz &= dz_H + \frac{\partial u_z^l}{\partial r_H} dr_H + \frac{\partial u_z^l}{\partial z_H} dz_H. \end{aligned} \tag{23}$$

Подставляя (23) в выражение для полного дифференциала от функций  $\tilde{\chi}_l(r, z, t)$  ( $l = I, II$ ), определяемых соотношениями (2),

$$d\tilde{\chi}_l = dz - \frac{\partial \chi_l}{\partial r} dr = 0, \quad (l = I, II), \tag{24}$$



после преобразований находим

$$\frac{\partial \chi_l}{\partial r} = \frac{dz}{dr} = \frac{dz_n + \frac{\partial u_z^l}{\partial r_n} dr_n + \frac{\partial u_z^l}{\partial z_n} dz_n}{dr_n + \frac{\partial u_r^l}{\partial r_n} dr_n + \frac{\partial u_r^l}{\partial z_n} dz_n}. \quad (25)$$

Дифференцируя (2) частным образом по координатам  $r$  и  $z$ , имеем

$$\frac{\partial \tilde{\chi}_l}{\partial r} = -\frac{\partial \chi_l}{\partial r}, \quad \frac{\partial \tilde{\chi}_l}{\partial z} = 1 \quad (l = I, II). \quad (26)$$

Подставляя (25) и (26) в (5) и учитывая, что координаты точек, лежащих на недеформированных поверхностях возможного контакта, не являются независимыми, а связаны между собой соотношениями

$$z_I(r) = \sqrt{R_0^2 - r^2} - R_0; \quad z_{II}(r) = 0,$$

и опуская далее индекс  $n$  для направляющих косинусов главных нормалей в области и окрестностях деформированных поверхностей возможного контакта, после преобразований получаем следующие выражения:

$$n_r^I = -\frac{\frac{\partial u_z^I}{\partial r} - \frac{r}{\sqrt{R_0^2 - r^2}} \left(1 + \frac{\partial u_z^I}{\partial z}\right)}{\sqrt{\left[\frac{\partial u_z^I}{\partial r} - \frac{r}{\sqrt{R_0^2 - r^2}} \left(1 + \frac{\partial u_z^I}{\partial z}\right)\right]^2 + \left[1 + \frac{\partial u_r^I}{\partial r} - \frac{\partial u_r^I}{\partial z} \frac{r}{\sqrt{R_0^2 - r^2}}\right]^2}};$$

$$n_z^I = \frac{1 + \frac{\partial u_r^I}{\partial r} - \frac{\partial u_r^I}{\partial z} \frac{r}{\sqrt{R_0^2 - r^2}}}{\sqrt{\left[\frac{\partial u_z^I}{\partial r} - \frac{r}{\sqrt{R_0^2 - r^2}} \left(1 + \frac{\partial u_z^I}{\partial z}\right)\right]^2 + \left[1 + \frac{\partial u_r^I}{\partial r} - \frac{\partial u_r^I}{\partial z} \frac{r}{\sqrt{R_0^2 - r^2}}\right]^2}}; \quad (27)$$

$$n_r^{II} = \frac{\frac{\partial u_z^{II}}{\partial r}}{\sqrt{\left[1 + \frac{\partial u_r^{II}}{\partial r}\right]^2 + \left[\frac{\partial u_z^{II}}{\partial r}\right]^2}}; \quad n_z^{II} = -\frac{1 + \frac{\partial u_r^{II}}{\partial r}}{\sqrt{\left[1 + \frac{\partial u_r^{II}}{\partial r}\right]^2 + \left[\frac{\partial u_z^{II}}{\partial r}\right]^2}}. \quad (28)$$

Анализируя полученные выражения для направляющих косинусов, замечаем, что их значения в центральной точке возможного контакта  $r = 0, z = 0$  в силу осевой симметрии рассматриваемой задачи совпадают

$$n_r^I = n_r^{II} = 0, \quad n_z^I = -n_z^{II} = 1.$$

Совпадение же значений направляющих косинусов в других точках поверхностей контакта индентора и среды не столь очевидно. Это объясняется тем, что при отсутствии учета трения в контактной области составляющие векторов перемещения в одноименных точках идеального контакта индентора и среды из-за наличия проскальзывания не совпадают.

Докажем, что требование выполнения нестрогого вариационного равенства (21) при определении поля скоростей точек континуума в вариационной постановке равносильно поиску решения исходной задачи в классической постановке. С этой целью подставим (14) в (21). Группируя в подинтегральных выражениях двойных интегралов полученного при этом нестрогого равенства слагаемые, содержащие множители в виде вариаций скоростей, с учетом (4), (5) и (8) после преобразований получаем

$$\begin{aligned}
 & - \int_0^{R_2} \int_{\chi_{II}(r,t)}^{h_2} \left[ \delta v_r^{II} \left( \frac{\partial \sigma_{rr}^{II}}{\partial r} + \frac{\sigma_{rr}^{II}}{r} - \frac{\sigma_{\theta\theta}^{II}}{r} + \frac{\partial \sigma_{rz}^{II}}{\partial z} - \rho^{II} \frac{d^2 u_r^{II}}{dt^2} \right) + \right. \\
 & + \left. \delta v_z^{II} \left( \frac{\partial \sigma_{zz}^{II}}{\partial z} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{zr}^{II}) - \rho^{II} \frac{d^2 u_z^{II}}{dt^2} \right) \right] r dz dr - \\
 & - \int_0^{R_1} \int_{\chi_I(R_1,t)-h_1}^{\chi_I(r,t)} \left[ \delta v_r^I \left( \frac{\partial \sigma_{rr}^I}{\partial r} + \frac{\sigma_{rr}^I}{r} - \frac{\sigma_{\theta\theta}^I}{r} + \frac{\partial \sigma_{rz}^I}{\partial z} - \rho^I \frac{d^2 u_r^I}{dt^2} \right) + \right. \\
 & + \left. \delta v_z^I \left( \frac{\partial \sigma_{zz}^I}{\partial z} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{zr}^I) - \rho^I \frac{d^2 u_z^I}{dt^2} \right) \right] r dz dr - \\
 & + R_1 \int_{\chi_I(R_1,t)-h_1}^{\chi_I(R_1,t)} \delta v_r^I \sigma_{rr}^I \Big|_{r=R_1} dz + R_2 \int_0^{h_2} \delta v_r^{II} \sigma_{rr}^{II} \Big|_{r=R_2} dz - \int_0^{R_1} \delta v_r^I \sigma_{rz}^I \Big|_{z=\chi_I(R_1,t)-h_1} r dr - \\
 & - \int_0^{R_1} \delta v_z^I \left( \sigma_{zz}^I \Big|_{z=\chi_I(R_1,t)-h_1} + p \right) r dr + \int_0^{R_2} \delta v_r^{II} r \sigma_{rz}^{II} \Big|_{z=h_2} dr + \int_0^{R_2} \delta v_z^{II} \sigma_{zz}^{II} \Big|_{z=h_2} r dr + \\
 & + R_1 \int_{\chi_I(R_1,t)-h_1}^{\chi_I(R_1,t)} \delta v_z^I \sigma_{zr}^I \Big|_{r=R_1} dz + R_2 \int_0^{h_2} \delta v_z^{II} \sigma_{zr}^{II} \Big|_{r=R_2} dz + \int_a^{R_1} \frac{\delta v_\tau^I}{n_z^I} \sigma_{n\tau}^I r dr - \int_a^{R_2} \frac{\delta v_\tau^{II}}{n_z^{II}} \sigma_{n\tau}^{II} r dr + \\
 & + \int_a^{R_1} \frac{\delta v_n^I}{n_z^I} \sigma_{mn}^I r dr - \int_a^{R_2} \frac{\delta v_n^{II}}{n_z^{II}} \sigma_{mn}^{II} r dr + \int_0^a \frac{\delta v_\tau^I}{n_z^I} \sigma_{n\tau}^I r dr - \int_0^a \frac{\delta v_\tau^{II}}{n_z^{II}} \sigma_{n\tau}^{II} r dr + \\
 & + \int_0^a \frac{\delta v_n^I}{n_z^I} (\sigma_{nn}^I + \lambda) r dr - \int_0^a \frac{\delta v_n^{II}}{n_z^{II}} (\sigma_{nn}^{II} + \lambda) r dr + \int_0^a \delta \lambda (v_n^I + v_n^{II}) \frac{1}{n_z^I} r dr \geq 0,
 \end{aligned} \tag{29}$$

Откуда в силу произвольности вариаций проекций скоростей на оси координат из первых двух интегралов левой части (29) следуют уравнения движения индентора и среды

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial \sigma_{rr}^I}{\partial r} + \frac{\sigma_{rr}^I}{r} - \frac{\sigma_{\theta\theta}^I}{r} + \frac{\partial \sigma_{rz}^I}{\partial z} - \rho^I \frac{d^2 u_r^I}{dt^2} = 0 \\
 & \frac{\partial \sigma_{zz}^I}{\partial z} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{zr}^I) - \rho^I \frac{d^2 u_z^I}{dt^2} = 0 \quad (l = I, II).
 \end{aligned} \tag{30}$$

Оставшиеся интегралы, за исключением пяти последних, на том же основании дают граничные условия на поверхностях индентора и среды свободных от внешней нагрузки, условие приложения усилия к верхней поверхности индентора и условие жесткого закрепления нижней поверхности ограничивающего среду объема, а именно

$$\begin{aligned}
 & \sigma_{rr}^I \Big|_{r=R_1} = 0, \quad \sigma_{rr}^{II} \Big|_{r=R_2} = 0, \quad \sigma_{zr}^I \Big|_{r=R_1} = 0, \quad \sigma_{zr}^{II} \Big|_{r=R_2} = 0, \\
 & \sigma_{rz}^{II} \Big|_{z=h_2} = 0, \quad \delta v_z^{II} \Big|_{z=h_2} = 0, \quad \sigma_{rz}^I \Big|_{z=\chi_I(R_1,t)-h_1} = 0, \quad \sigma_{zz}^I \Big|_{z=\chi_I(R_1,t)-h_1} = -p, \\
 & \sigma_{nm}^I \Big|_{z=\chi_I(r,t)} = \sigma_{n\tau}^I \Big|_{z=\chi_I(r,t)} = 0 \quad \text{при } a \leq r \leq R_1, \\
 & \sigma_{nm}^{II} \Big|_{z=\chi_{II}(r,t)} = \sigma_{n\tau}^{II} \Big|_{z=\chi_{II}(r,t)} = 0 \quad \text{при } a \leq r \leq R_2.
 \end{aligned} \tag{31}$$

С учетом (19) и (20) из последнего интеграла в силу произвольности вариации множителя Лагранжа следует условие непроникновения

$$v_n^I + v_n^{II} \leq 0,$$

а из оставшихся четырех в силу произвольности нормальных и касательных составляющих векторов скоростей точек контактной поверхности имеем кинетические граничные условия на поверхности контакта:

$$\sigma_{n\tau}^I \Big|_{z=\chi_I(r,t)} = \sigma_{n\tau}^{II} \Big|_{z=\chi_{II}(r,t)} = 0 \quad (0 \leq r \leq a), \quad (32)$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{nn}^I \Big|_{z=\chi_I(r,t)} = -\lambda \leq 0 \\ \sigma_{nn}^{II} \Big|_{z=\chi_{II}(r,t)} = -\lambda \leq 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \sigma_{nn}^I \Big|_{z=\chi_I(r,t)} = \sigma_{nn}^{II} \Big|_{z=\chi_{II}(r,t)} \quad (0 \leq r \leq a). \quad (33)$$

Совокупность полученных выше уравнений (30), граничных и контактных условий (31) - (33) представляет собой рассматриваемую задачу в исходной постановке. Таким образом, эквивалентность задачи в вариационной постановке исходной доказана.

Полученное выше с применением метода множителей Лагранжа нестрогое вариационное равенство (21) является основой для исследования напряженно-деформированного состояния тел, образующих континуум. На базе какого-либо из численных методов определение полей скоростей и напряжений с его использованием может быть сведено либо к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений относительно скоростей движения точек континуума, либо к решению системы линейных алгебраических уравнений относительно ускорений. Кроме того отметим, что указанное выше нестрогое равенство получено без наложения каких-либо ограничений на форму деформированных поверхностей индентора и среды вследствие контакта, геометрические соотношения и на физические уравнения, определяющие состояние материала тел, образующих континуум. Поэтому при решении конкретных задач оно должно быть дополнено соответствующими геометрическими, кинематическими и физическими соотношениями, а также условиями для определения границ области контакта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинникова Н.В. Модельная задача для исследования процессов поверхностного упрочнения пластическим деформированием с применением ультразвуковых воздействий / Н.В. Овчинникова, Д.Г. Павлов, Ю.В. Чеботаревский // Вестник СГТУ. 2007. №4 (28). Вып. 1. С. 14-18.
2. Овчинникова Н.В. К расчету напряженно-деформированного состояния упругопластического полупространства, контактирующего с абсолютно жестким индентором / Н.В. Овчинникова, Ю.В. Чеботаревский // Вестник СГТУ. 2010. №4 (51). Вып. 3. С. 10-17.
3. Овчинникова Н.В. Вариационное уравнение движения континуума «жесткий индентор – деформируемая среда» / Н.В. Овчинникова, Ю.В. Чеботаревский // Вестник СГТУ. 2011. №4 (60). Вып. 2. С. 48-57.
4. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов. М.: Высш. шк., 1968. 512 с.
5. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа: в 2 ч. Ч. 1 / Г.М. Фихтенгольц. СПб.: Лань, 2005. 448 с.
6. Фихтенгольц Г.М. Основы математического анализа: в 2 ч. Ч. 2 / Г.М. Фихтенгольц. СПб.: Лань, 2008. 464 с.

**Овчинникова Наталья Владимировна** – аспирант кафедры «Техническая механика и детали машин» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Natalya V. Ovchinnikova** – Assistant Lecturer, Department of Engineering Mechanics and Machinery, Gagarin Saratov State Technical University

**Чеботаревский Юрий Викторович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная математика и системный анализ» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Yuri V. Chebotarevsky** – Dr. Sc., Professor, Department of Applied Mathematics and Systems Analysis, Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 14.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

## ФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 621.38.049.77

**А.Г. Балаболин**

### РАСЧЕТ ШИРОКОПОЛОСНОГО ЭКВАЛАЙЗЕРА В ДИАПАЗОНЕ 6-12 ГГц

*Описывается расчет восьмиканального (частотные каналы) эквалайзера. Приведены требования к фильтрам, двух- и более канальным эквалайзерам, особенности расчета восьмиканального эквалайзера с учетом проектирования реальной модели прибора.*

Эквалайзер, дуплексер, фильтр, расчет, оптимизация

**A.G. Balabolin**

### CALCULATION OF THE 6-12 GHz BROADBAND EQUALIZER

*The article describes the calculation of the 8-channel (frequency channels) EQ. The requirements for filters, two or more channel equalizers, specific calculations for the 8-channel equalizer design based on the real model unit are provided.*

Equalizer, diplexer, filter, calculation, optimization

К многомодульным устройствам предъявляются жесткие требования для применения в аппаратуре, в частности к амплитудно-частотной характеристике (АЧХ). Это могут быть специально заданные параметры АЧХ [1, 2] или характеристики, имеющие минимальные значения по неравномерности АЧХ (меньше 1 дБ). При каскадировании таких модулей получаемые значения АЧХ многомодульных устройств отличаются от заданных и требуют сложной настройки всего изделия. Целью настоящей работы является создание устройства (эквалайзера), встроенного в многомодульное изделие, которое осуществляет коррекцию АЧХ всего изделия с достижением необходимых значений по неравномерности АЧХ.

В настоящее время в периодической печати широко и подробно рассмотрены принцип действия, электрические параметры, особенности конструкции бытовых и студийных эквалайзеров звукового диапазона [3-10].

Принцип действия эквалайзеров в диапазоне частот до 2 ГГц, осуществляющих наклон АЧХ и предназначенных для компенсации потерь СВЧ сигнала в длинных линиях передач, рассмотрен в [11-16].

Информация, электрические схемы, конструкция многоканальных эквалайзеров в диапазоне частот свыше 2 ГГц в периодической печати отсутствуют.

Данная статья преследует задачу устранить этот пробел [17] и рассмотреть теоретическую возможность создания широкополосных многоканальных эквалайзеров в сантиметровом диапазоне длин волн, при этом не исключается вероятность того, что многоканальные эквалайзеры в том или ином виде существуют.

Основные технические требования, предъявляемые к многоканальным эквалайзерам:

- 1) получение непрерывной зависимости АЧХ во всем диапазоне в диапазоне частот от 6 до 12 ГГц с неравномерностью АЧХ менее 1дБ;
- 2) осуществление коррекции АЧХ при изменении коэффициента передачи отдельного частотного канала при котором не нарушалась бы непрерывная зависимость коэффициента передачи от частоты;
- 3) получение минимального коэффициента передачи эквалайзера;
- 4) получение реальной топологии эквалайзера, не требующей дополнительных соединительных микрополосковых линий, применение которых может полностью исказить АЧХ эквалайзера.

При этом п. 1, 2 являются наиболее важными, т.к. определяют работу такого изделия, как эквалайзер.

В процессе технического расчета, анализа возможных вариантов электрических схем выполнение одновременно требований 1-4 оказалось неразрешимой задачей.

В результате была разработана структурная схема 8-канального эквалайзера, позволяющего выполнить требования к эквалайзерам 1, 2, 4 (рис. 1).

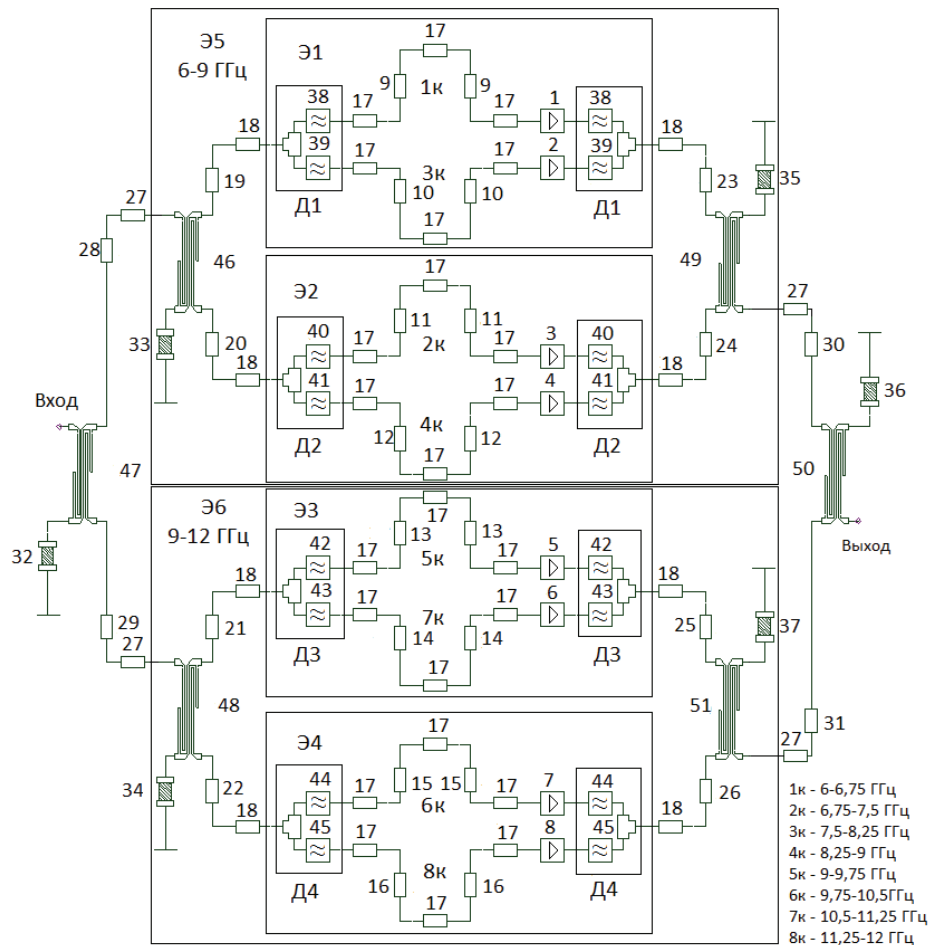


Рис. 1. Структурная схема 8-канального эквалайзера в диапазоне частот 6-12 ГГц

Попытки уменьшить потери СВЧ сигнала многоканального эквалайзера (в нашем случае прямые потери без учета коэффициента передачи переменных интегральных идентичных усилителей 1-8 составляют 12 дБ) без применения 3-децибельных ответвителей «Lange» не позволяли выполнить требования 1, 2, 4, т.е. данная схема в нашем случае наиболее оптимально реализует большинство наиболее важных параметров, предъявляемых к широкополосным многоканальным эквалайзерам.

Диапазон частот ( $f_{\text{верх.}n} - f_{\text{нижн.}n}$ ) каждого частотного канала равен 0,75 ГГц и соответствует значениям, указанным на рис 1 ( $n=1-8$ ).

В состав каждого диплексера Д1-Д4, выполненного на микрополосковых линиях, входят фильтры 38-45, определяющие полосы выходных частот и коэффициент передачи каждого частотного канала. Коэффициент передачи отдельного фильтра в полосе пропускания составляет минус 3-4 дБ, в полосе частот ( $f_{\text{верх.}n} - 100 \text{ МГц}$ ) – ( $f_{\text{нижн.}n} + 100 \text{ МГц}$ ) не менее 0,3 дБ, вне полосы пропускания при отстройке на 100 МГц не менее минус 8 дБ. Коэффициент стоячей волны по напряжению в полосе частот ( $f_{\text{верх.}n} - 100 \text{ МГц}$ ) – ( $f_{\text{нижн.}n} + 100 \text{ МГц}$ ) не более 1,6. Такие параметры фильтров должны обеспечить непрерывное соединение всех частотных каналов эквалайзера в рабочем диапазоне частот и регулировку АЧХ на глубину до 15 дБ.

Теория расчета СВЧ фильтров подробно рассмотрена в периодической печати [18, 19]. Для упрощения расчета и получения реальной топологии полагаем, что модели фильтров 38-45 должны обладать следующими свойствами:

- все фильтры должны располагаться на одной линии;
- все фильтры должны иметь одинаковую метрическую длину;

– расстояние между фильтрами и, соответственно, между частотными каналами должно быть одинаковым (в нашем случае эта величина определяется геометрическими размерами усилителей с управляемым коэффициентом усиления (1-8). Такими параметрами обладают фильтры, составленные из последовательно включенных короткозамкнутых симметричных отрезков микрополосковых линий.

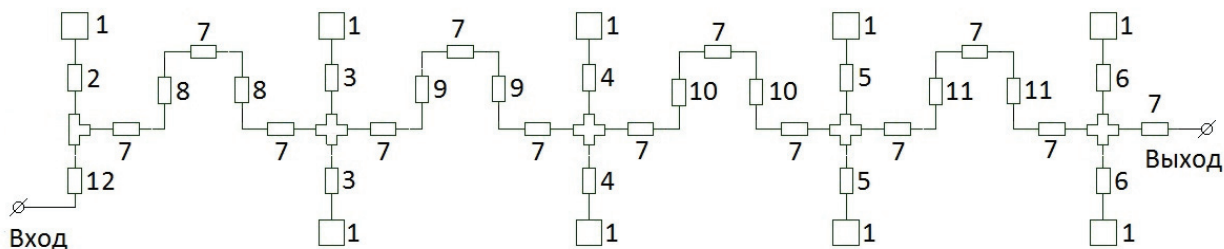


Рис. 2. Фильтр из последовательных отрезков короткозамкнутых линий

Для упрощения конструкции отрезки всех микрополосковых линий имеют ширину 0,3 мм, толщина подложки 0,5 мм, диэлектрическая проницаемость 9,6. Длины микрополосковых отрезков 7 и 12 имеют одинаковую длину у всех фильтров в диапазоне от 6 до 12 ГГц, поэтому и длина таких фильтров будет постоянной, что значительно облегчает конструкцию диплексеров и эквалайзеров. Длина микрополоскового отрезка 12 определяется габаритами переменных усилителей 1-8.

Предварительный теоретический расчет показал сильное влияние на параметры фильтров качество «заземления» микрополосковых линий 2-6 (влияние толщины подложки, геометрические размеры площадки под заземляющее отверстие и его диаметр). Поэтому сложная микрополосковая схема «заземления» была заменена на эквивалентный двухполюсник 1. При этом время расчета фильтров в процессе оптимизации сократилось в несколько раз.

Оптимизация параметров фильтров 38-45, диплексеров Д1-Д4, эквалайзеров Э1-Э6 и всего 8-канального эквалайзера проводилась методом Левенберга-Марквардта [20-22]. Исследования их характеристик проводились численными методами. Синтез согласующих цепей параметров микрополосковых линий выполнялся путем алгоритма Левенберга-Марквардта – метод оптимизации, направленного на решение задач на основе метода о наименьших квадратах. Этот метод может рассматриваться как комбинация метода Гаусса – Ньютона с методом градиентного спуска или как метод доверительных интервалов. Алгоритм был сформулирован независимо Левенбергом (1944) и Марквардтом (1963).

Параметры фильтров, диплексеров, эквалайзеров, переменных усилителей задавались матрицей рассеяния (S-параметры). Итогом оптимизации являлась топология микрополосковой схемы.

Расчет фильтров 38-45, диплексеров Д1-Д4, эквалайзеров Э1-Э4 (рис. 1) не вызывает особых затруднений. Элементами оптимизации являлись длины отрезков 2-6, 8-11, различные для каждого частотного канала. Параметры матрицы рассеяния управляемых усилителей 1-8 при расчете эквалайзеров Э1-Э4 (в дальнейшем Э5, Э6) в диапазоне частот 6-12 ГГц имели следующие значения:  $|S_{11}| = -12$  дБ,  $|S_{21}| = 12$  дБ,  $|S_{12}| = -20$  дБ,  $|S_{22}| = -12$  дБ, при этом значения фаз параметров рассеяния идентичных усилителей не влияет на процесс расчета. Коэффициент передачи отдельного частотного канала эквалайзеров Э1-Э4 в полосе пропускания составлял  $\sim 7$  дБ, в полосе частот ( $f_{\text{верх.н}} - 100$  МГц) – ( $f_{\text{нижн.п}} + 100$  МГц) не менее 11,5 дБ, вне полосы пропускания при отстройке на 100 МГц не менее минус 4 дБ. Коэффициент стоячей волны по напряжению в полосе частот ( $f_{\text{верх.н}} - 100$  МГц) – ( $f_{\text{нижн.п}} + 100$  МГц) не более 1,6. Дополнительные пятидесятиомные отрезки микрополосковых линий 9-17 при расчете эквалайзеров Э1-Э4 отсутствовали и появились в процессе расчета и оптимизации эквалайзеров Э5-Э6.

Типичные параметры диплексеров и эквалайзеров приведены на рис. 3.

В состав четырехканальных эквалайзеров Э5, Э6 входят соответственно эквалайзеры Э1 и Э2, Э3 и Э4.

Эквалайзеры Э1, Э2, Э3, Э4 соединены между собой ответвителями «Lange» 46, 48, 49, 51, обеспечивающими непрерывное суммирование частотных каналов в диапазонах 6-9 ГГц и 9-12 ГГц и развязку 20-25 дБ между эквалайзерами Э1 и Э2, Э3 и Э4, соответственно. Отсутствие таких устройств приводит к возникновению паразитных резонансов на АЧХ эквалайзеров Э5 и Э6. Получить непрерывную зависимость АЧХ в широкой полосе частот (п. 1 основных технических требований к эквалайзерам) становится невозможным. В процессе расчета фильтры в микрополосковом исполнении были заменены на эквивалентные четырехполюсники с соответствующими S параметрами. Такая

замена в десятки раз увеличивает скорость расчета и оптимизации эквалайзеров Э5, Э6 и всего восьмиканального эквалайзера и позволяет оперативно проводить теоретические вычисления и анализировать полученные результаты.

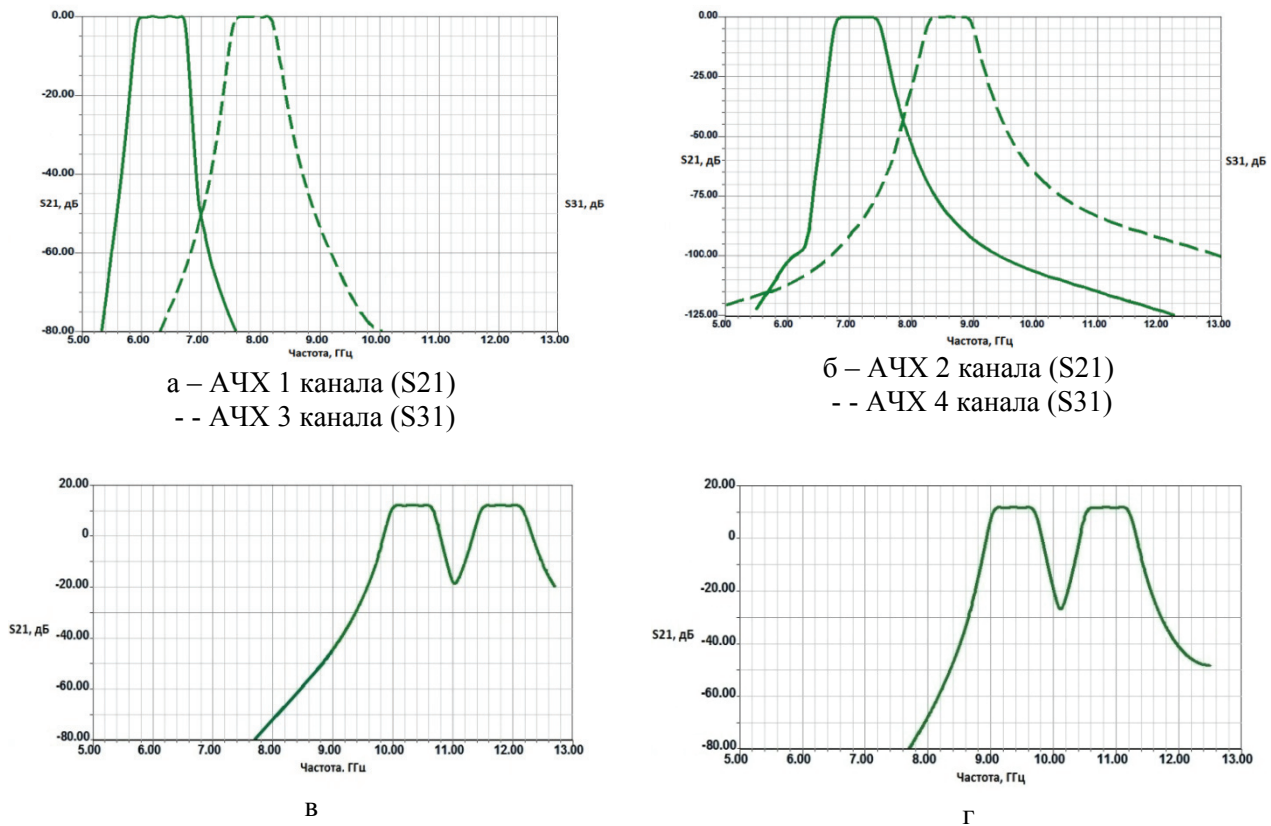


Рис. 3. а – АЧХ диплексера Д1; б – АЧХ диплексера Д2; в – АЧХ эквалайзера Э3; г – АЧХ эквалайзера Э4

Величина коэффициента передачи эквалайзеров Э5, Э6 не должна превышать 6 дБ, а также не иметь значительных минимумов на частотах, где происходит стыковка отдельных частотных каналов. Данное обстоятельство может быть вызвано отсутствием необходимой фильтрации в частотных каналах, рассогласованностью по фазе коэффициентов передачи эквалайзеров Э1-Э4 и неидентичностью их комплексных сопротивлений.

В процессе расчета параметрами оптимизации являлись длины пятидесятиомных микрополосковых линий 9-12, 18, 19, 23, 24 для эквалайзера Э5 в диапазоне 6-9 ГГц и 13-16, 21, 24-26 для эквалайзера Э6 в диапазоне 9-12 ГГц (согласование в первую очередь по фазе коэффициентов передач отдельных частотных каналов, осуществляющих непрерывность и минимальную неравномерность АЧХ) и длин ответвителей 46, 48, 49, 51, компенсирующих неидентичность комплексных сопротивлений эквалайзеров Э1-Э4.

В результате расчета величина коэффициента передачи эквалайзеров Э5 и Э6 находится в пределах от 5,2 до 5,8 дБ.

На рис. 4 а, б приведены АЧХ эквалайзеров Э5-Э6.

На входе и выходе восьмиканального эквалайзера располагаются ответвители «Lange» 47, 50. Ответвители «Lange» 47, 50 играют ту же роль, что и ответвители «Lange» 46, 48, 49, 51, участвующие при расчете эквалайзеров Э5, Э6. После объединения двух эквалайзеров необходима последующая оптимизация, теперь уже всей схемы, изображенной на рис. 1.

Оптимизация проводится по всем длинам пятидесятиомных линий, указанным выше, с добавлением линий 27-31, длин ответвителей «Lange» 47-50 и подбором оптимальных величин резисторов 31-37.

При этом суммарная длина микрополосковых линий 19-20, 21-22, 23-24, 25-26, 28-29, 30-31 с учетом ответвителей «Lange» должна быть постоянной. Это дает возможность расположить все частотные каналы равномерно и разработать реальную топологию (п.4 технических требований), не тре-

бующую дополнительных соединительных микрополосковых линий, добавление которых может привести к аннулированию результатов расчета разрабатываемого эквалайзера. АЧХ эквалайзера приведена на рис. 5 а (коэффициент передачи усилителей 12 дБ).

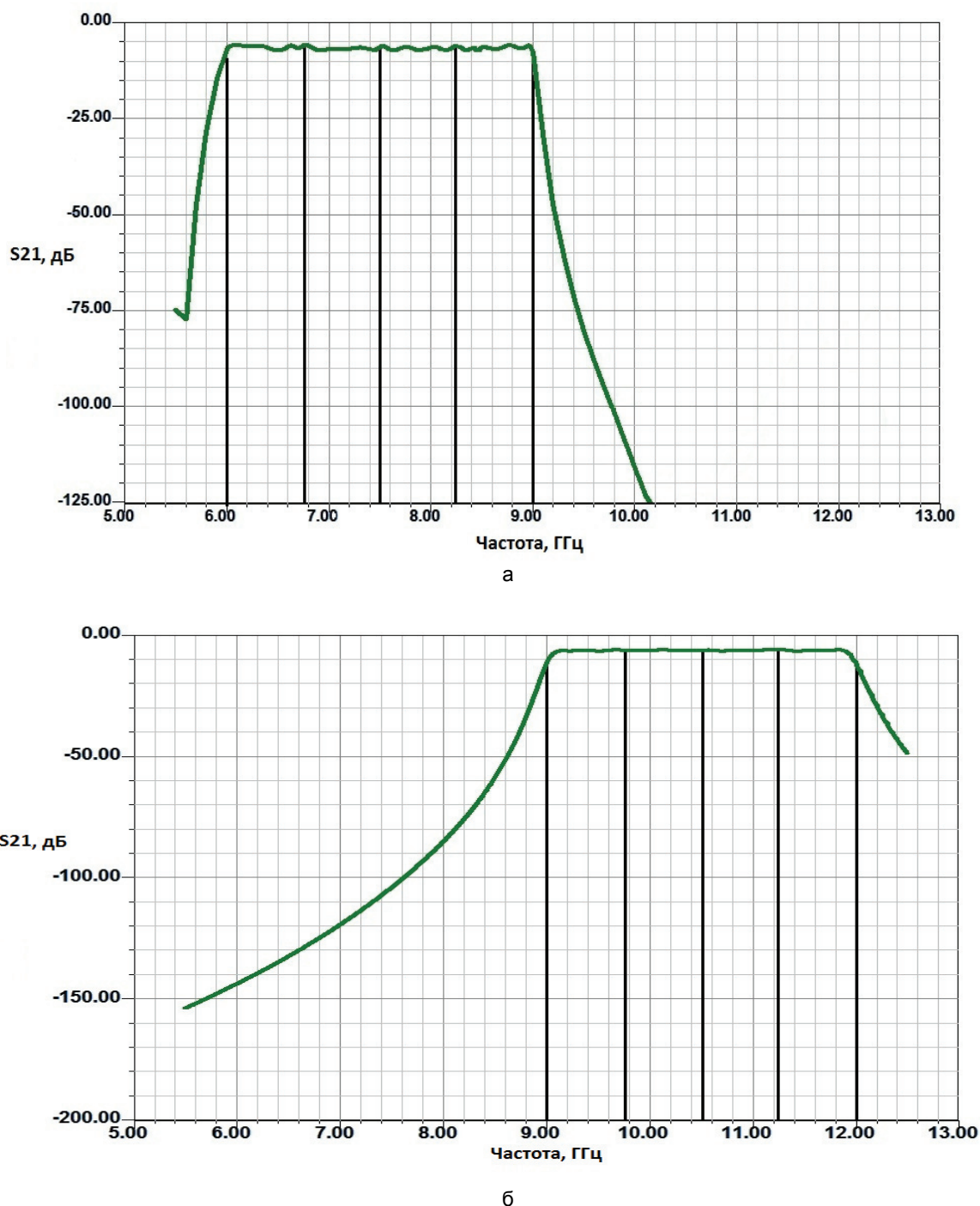


Рис. 4. а – АЧХ четырёхканального эквалайзера Э5; б – АЧХ четырёхканального эквалайзера Э6

Неравномерность АЧХ в полосе частот 6-12 ГГц составляет менее 1 дБ. Минимальный коэффициент передачи ~ минус 1 дБ. Максимальный коэффициент передачи не превышает 0 дБ.

На рис 5 б, в показана теоретическая возможность получения необходимых АЧХ при изменении коэффициентов передачи усилителей (параметры S21 соседних частотных каналов отличаются на 3 дБ).

В заключение необходимо отметить, что предложенная схема расчета позволяет рассчитывать многоканальные эквалайзеры в микрополосковом исполнении с учетом проектирования реальной модели прибора практически в любой области СВЧ диапазона и дает возможность оперативного анализа полученных расчетных данных. Недостатком данной модели являются значительные потери (12 дБ), увеличивающиеся с увеличением числа частотных каналов.



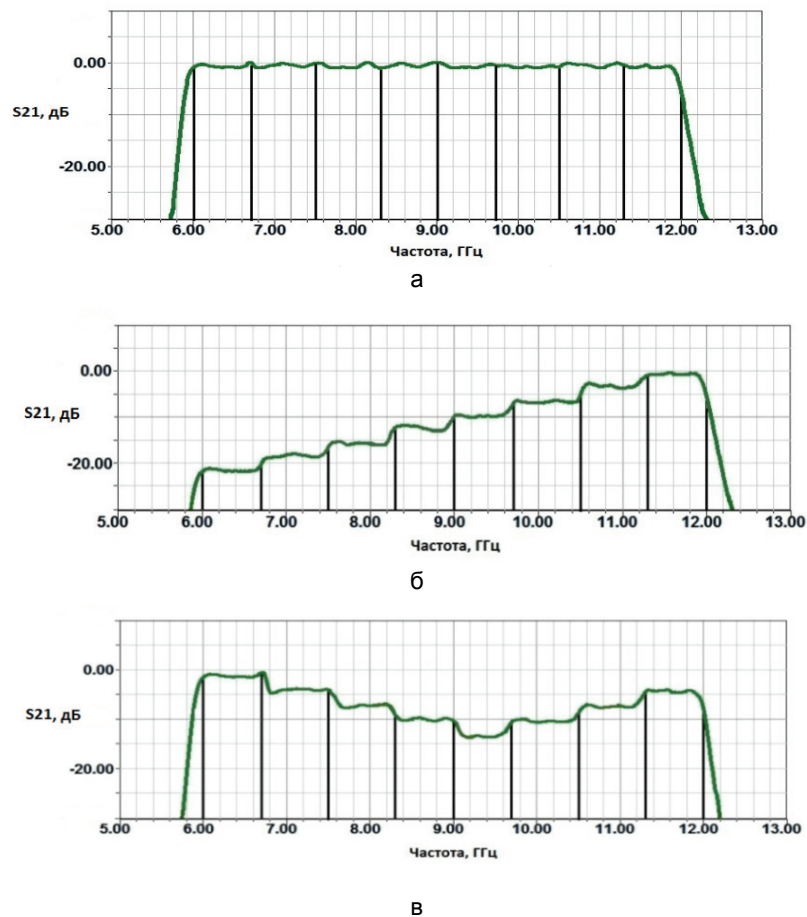


Рис. 5. а – АЧХ эквалайзера; б, в – теоретическая возможность получения необходимых АЧХ при изменении коэффициентов передачи усилителей

Автор выражает благодарность Министерству образования и науки Российской Федерации за предоставленную возможность в рамках НИР подготовить эту статью.

Автор выражает искреннюю признательность д.ф.-м.н. Е.Ю. Альтшулеру за полезные советы и тщательное рецензирование предварительной редакции этой статьи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов А.Б. Современные широкополосные ЛВБ непрерывного действия ФГУП «НПП «Алмаз» / А.Б. Данилов, А.Д. Рафалович // Электронные приборы и устройства СВЧ. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. 168 с.
2. Беляева Ю.А. Вопросы получения фазоидентичных широкополосных СВЧ-усилителей / Ю.А. Беляева, А.Б. Данилов, А.Д. Рафалович // Электронные приборы и устройства СВЧ. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. 168 с.
3. Шихатов А. Пассивные регуляторы тембра / А. Шихатов // Радио. 1999. С. 14-15.
4. Зыков Н. Многополосные регуляторы тембра / Н. Зыкова // Радио. 1978. С. 34-36, 40-41.
5. Галченков Л. Пятиполосный активный / Л. Галченков, Ф. Владимиров // Радио. 1982. № 9. С. 39-42.
6. Козлов А. Графический эквалайзер / А. Козлов // Радио. 1988. С. 42-45.
7. Романов И. Активные ВС фильтры схемы и расчет / И. Романов // Радио. 1994. С. 39-40.
8. Мосягин В. Регулятор тембра с изменяемыми частотами перегиба / В. Мосягин, С. Сплин // В помощь радиолюбителю: сб. М.: ДОСААФ, 1987. Вып. 98. С. 54-61.
9. Старостенко М. Параметрический эквалайзер / М. Старостенко // Радио. 1988. С. 16-18.
10. Шихатов А. Комбинированный блок регулирования АЧХ / А. Шихатов. Радио, 1993. № 7. 16 с.
11. Пат. 2238605 РФ Управляемый микрополосковый корректор наклона амплитудно-частотной характеристики / Ю.В. Вахтин, С.П. Капкин, А.М. Прищепко, Н.В. Токарев. Открытия, Изобретения, 2004.
12. Пат. США № US 7,683,732 В1, опубл. 23.03.2010.
13. Малютин Н.Д. Корректоры амплитудных и частотных характеристик СВЧ электровакуумных приборов / Н.Д. Малютин. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1990. 52 с.
14. Сильвинская К.А. Расчет фазовых и амплитудных корректоров / К.А. Сильвинская, З.И. Гольшко. М.: Связь, 1969.

15. Трофименко В.В. Корректор АЧХ L-диапазона, выполненный на трехслойной структуре / В.В. Трофименко, В.А. Хрипко // Общие вопросы радиоэлектроники. Вып. 1.4.1. Ростов н/Д., 2006. С.114-120
16. А.с. №1700647 СССР. Регулируемый корректор амплитудно-частотных искажений / Ю.В. Вахтин, С.П. Капкин.
17. Балаболин А.Г. Патент РФ на полезную модель № 117238 от 20 июня 2012 г. / А.Г. Балаболин.
18. Фельдштейн А.Л. Справочник по элементам полосковой техники / А.Л. Фельдштейн. М.: Связь, 1979.
19. Малорацкий Л.Г. Проектирование и расчёт СВЧ элементов на полосковых линиях / Л.Г. Малорацкий, Л.Р. Явич. М.: Сов. радио, 1972.
20. Дэннис Дж. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений / Дж. Дэннис, Р. Шнабель. М.: Мир, 1968. 440 с.
21. Гилл Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, М. Мюррей. М.: Мир, 1985.
22. Демиденко Е.З. Оптимизация и регрессия / Е.З. Демиденко. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 296 с.

**Балаболин Александр Григорьевич** –  
начальник отдела Федерального  
государственного унитарного предприятия  
Научно-производственного  
предприятия «Алмаз», г. Саратов

**Alexander G. Balabolin** –  
Head: Research and Development  
Division of the Federal State  
Unitary Company «Almaz»,  
Saratov

*Статья поступила в редакцию 21.09.12, принята в редакцию 06.11.12*

УДК 53.043

**Д.А. Зимняков, О.В. Ушакова, С.А. Ювченко, С.П. Чекмасов, И.Д. Потоцкий, Н.В. Горшков**

### **РЕЗОНАНСЫ ФРЕЛИХА В НАНОПЛАСТИНАХ ГИДРАТИРОВАННОГО ТИТАНАТА КАЛИЯ**

*Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований резонансных эффектов при взаимодействии света с дисперсными наносистемами на основе нанопластин гидратированного титаната калия. Интерес к подобным системам обусловлен уникальными оптическими характеристиками наночастиц на основе диоксида титана, и прежде всего – их чрезвычайно высокой эффективностью рассеяния в видимой и ближней ультрафиолетовой областях.*

Наночастицы, поверхностные моды, экстинкция, рассеяние, поглощение, модель Лоренца, условие Фрелиха

**D.A. Zimnyakov, O.V. Ushakova, S.A. Yuvchenko, S.P. Chekmasov, I.D. Pototsky, N.V. Gorshkov**

### **FRÖHLICH RESONANCES IN HYDRATED POTASSIUM TITANATE NANOPATELETS**

*The results of theoretical and experimental studies of resonance phenomena in the course of light interaction with disperse nanostructured systems on the base of hydrated potassium titanate nanoplatelets are presented. The interest to such systems is caused by unique optical properties of titania-based nanoparticles such as the extremely high scattering efficiency in visible and near-ultraviolet range of electromagnetic spectrum.*

Nanoparticles, surface modes, extinction, scattering, absorption, Lorentz model, condition Fröhlich

Взаимодействие электромагнитного излучения с наноразмерными объектами характеризуется особенностями, к числу которых относится существенное влияние коллективных возбуждений сво-

бодных или связанных зарядов в материале наночастиц под действием электромагнитной волны на их оптические характеристики. В качестве примера подобного влияния можно привести проявление выраженных пиков в спектрах экстинкции ансамблей металлических наночастиц, обусловленных возбуждением локализованных поверхностных плазмонных резонансов в частотных интервалах, определяемых размерами и формой частиц, а также особенностями поведения диэлектрической функции металла, из которого состоят частицы, в этих интервалах [1-4]. Высокая чувствительность подобных резонансов к изменениям характеристик среды, окружающей частицы, позволяет рассматривать их как платформу для создания высокочувствительных наноразмерных сенсоров нового типа, перспективных для различных биомедицинских и технологических применений. Данное обстоятельство стимулировало интенсивные теоретические и экспериментальные исследования в области оптики наночастиц и в конечном счете явилось одной из причин, приведших к возникновению новых направлений в современной оптической науке – нанооптики и нанофотоники.

В значительно меньшей степени исследованы резонансные эффекты, связанные с коллективными электронными возбуждениями в электромагнитных полях оптического диапазона для наночастиц на основе полупроводниковых и диэлектрических материалов, что обусловлено не столь яркими и очевидными их проявлениями, как в случае металлических наночастиц. Подобные эффекты могут быть ожидаемы только для систем с достаточно специфичным поведением частотных зависимостей действительной и мнимой частей диэлектрической функции в оптическом диапазоне. С точки зрения классической электродинамики оптического диапазона резонансные возбуждения коллективных колебаний заряда в малых частицах, проявляющиеся в форме резкого увеличения элементов тензора поляризуемости частицы, имеют место при определенном значении действительной части диэлектрической проницаемости материала частицы, определяемом ее формой и диэлектрической проницаемостью окружающей среды. Соответствующее условие называется условием Фрелиха, а частота электромагнитного поля, для которой оно выполняется, – соответственно частотой Фрелиха [5]. Целью данной работы явились экспериментальные и теоретические исследования эффекта возбуждения мод Фрелиха в ближнем ультрафиолетовом диапазоне в квазидвумерных полупроводниковых наночастицах – нанопластинах гидратированного титаната калия.

В экспериментах были исследованы спектры экстинкции водных дисперсий нанопластин гидратированного титаната калия (ГТК) в спектральном интервале 190 нм – 470 нм, соответствующем фундаментальной полосе поглощения базового материала (диоксида титана, модификация – рутил) как широкозонного полупроводника с шириной запрещенной зоны порядка  $3.2 \div 3.5$  эВ. Используемые в ходе эксперимента системы характеризуются высокой степенью полидисперсности, вследствие чего с течением времени происходит модификация спектров (смещение наблюдаемых пиков экстинкции и изменение соотношения между амплитудами пиков), обусловленная седиментацией крупных частиц и кластеров мелких частиц. Существенное влияние на спектры оказывают также примеси поверхностно-активных веществ к базовой среде (воде), что обусловлено конкуренцией процессов агрегации и эксфолиации нанопластин, приводящих к существенным структурным изменениям ГТК дисперсий со временем. Исследуемые дисперсные системы были получены с использованием технологии, описанной в [6].

Спектры экстинкции регистрировались с использованием спектрофотометрического комплекса Evolution 300; образцы дисперсий помещались в кварцевые кюветы толщиной 10 мм. По данным электронной микроскопии и лазерного анализа размеров частиц нанопластины гидратированного титаната калия имеют в среднем поперечные размеры порядка 200-500 нм и толщину от 3-5 нм до 20-25 нм.

На рис. 1 приведены типичные спектры экстинкции исходных водных дисперсий ГТК нанопластин и дисперсий с добавлением ПАВ различных типов – анионного (лаурилсульфат) и нейтрального (этоксилированный алкилфенол, торговая марка OP-10) поверхностно-активных веществ.

В качестве характерной особенности наблюдаемых спектров экстинкции следует отметить наличие двух пиков – высокоамплитудного высокочастотного ( $F_1$ ) в районе  $9.4 \cdot 10^{15}$  Гц ( $\approx 200$  нм) и размытого низкочастотного пика ( $F_2$ ) вблизи  $6.2 \cdot 10^{15}$  Гц ( $\approx 300$  нм).

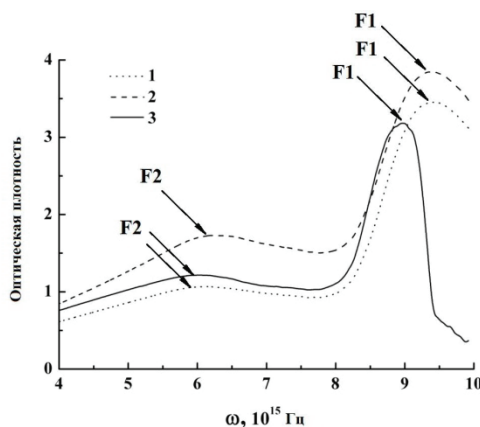


Рис. 1. Спектры экстинкции водных дисперсий ГТК нанопластин без (1) и с добавлением поверхностно-активных веществ (2 – лаурилсульфат, 3 – ОР-10). Спектры получены спустя 24 часа после приготовления дисперсий

Наблюдаемые особенности в спектрах экстинкции ГТК нанопластин (существование двух пиков экстинкции на частотах F1 и F2 и провала между ними) не могут быть объяснены только влиянием фундаментального поглощения материала наночастиц. С целью интерпретации полученных экспериментальных данных был проведен теоретический анализ частотных зависимостей действительной  $\epsilon'(\omega)$  и мнимой  $\epsilon''(\omega)$  частей диэлектрической функции объемного материала, используемого в качестве основы при приготовлении ГТК нанопластин – рутила. Вследствие отсутствия прямых данных о поведении комплексной диэлектрической проницаемости рутила в оптическом диапазоне значения  $\epsilon'(\omega)$  и  $\epsilon''(\omega)$  рассчитывались косвенным образом, исходя из известных данных о поведении оптических констант  $n$  и  $k$  в оптическом диапазоне [7].

Из спектров оптических констант в соответствии с выражениями

$$\begin{aligned} \epsilon' &= n^2 - k^2; \\ \epsilon'' &= 2nk, \end{aligned} \tag{1}$$

были восстановлены частотные зависимости  $\epsilon'(\omega)$  и  $\epsilon''(\omega)$ , приведенные на рис. 2.

Для оценки диэлектрической функции вблизи фундаментальной полосы поглощения использовалась одноосцилляторная модель Лоренца [5], в соответствии с которой

$$\begin{aligned} \epsilon' &= 1 + \frac{\omega_p^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2}; \\ \epsilon'' &= \frac{\omega_p^2\gamma\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \gamma^2\omega^2}, \end{aligned} \tag{2}$$

где  $\omega_p$  – так называемая плазменная частота,  $\gamma$  – параметр затухания и  $\omega_0$  – резонансная частота для исследуемой системы. Минимизация невязки между восстановленными и аппроксимирующими зависимостями по методу наименьших квадратов позволила получить следующие параметры одноосцилляторной модели:  $\omega_0 \approx 5.78 \cdot 10^{15}$  Гц;  $\omega_p \approx 1.32 \cdot 10^{16}$  Гц;  $\gamma \approx 1.32 \cdot 10^{15}$  Гц.

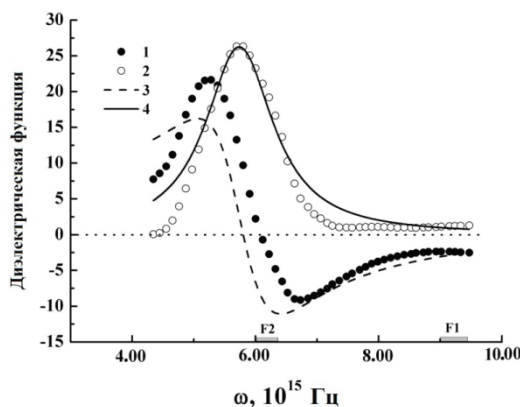


Рис. 2. Восстановленные из спектров оптических констант (1,2) и модельные (3,4) частотные зависимости действительной (1,3) и мнимой составляющих диэлектрической функции для диоксида титана (рутил). На оси частот показаны интервалы, соответствующие низкочастотному (F2) и высокочастотному (F1) пику экстинкции для исследуемых дисперсных наносистем

В рамках одноосцилляторной модели нули действительной части диэлектрической функции определяются решениями следующего биквадратного уравнения:

$$(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \omega_p^2(\omega_0^2 - \omega^2) + \gamma^2 \omega^2 \approx 0, \quad (3)$$

при условии, что корни данного уравнения локализованы вблизи значения резонансной частоты. Полагая, что плазменная частота существенно превышает параметр затухания, и отбрасывая не имеющие физического смысла решения уравнения (3), получим окончательно значения частоты, для которой действительная часть диэлектрической функции обращается в 0:

$$\begin{aligned} \omega_{1,2} &\approx \sqrt{\omega_0^2 + (\omega_p^2 - \gamma^2)/2 \pm \sqrt{[(\omega_p^2 - \gamma^2)/2]^2 - \omega_0^2 \gamma^2}} \approx \\ &\approx \sqrt{\omega_0^2 + (\omega_p^2/2)(1 \pm \sqrt{1 - 4\eta^2})}, \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь введен безразмерный параметр  $\eta = \omega_0 \gamma / \omega_p^2$ , значение которого для исследуемой системы равно  $\approx 0.038$ . В рамках используемых допущений мнимая часть диэлектрической функции может быть представлена как

$$\varepsilon'' \approx (\gamma \omega_p^2 / 4 \omega_0) / \{(\omega_0 - \omega)^2 + (\gamma/2)^2\} \quad (5)$$

что дает для «низкочастотного» нуля действительной части величину  $\varepsilon''(\omega_2) \approx 1/\eta$ , а для «высокочастотного» нуля –  $\varepsilon''(\omega_1) \approx \eta$ . Таким образом, для рассматриваемой модели выполняется фундаментальное соотношение

$$\varepsilon''(\omega_1) \varepsilon''(\omega_2) \approx 1 \quad (6)$$

при условии  $\omega_p, \omega_0 \gg \gamma$ . Отметим, что при найденном путем аппроксимации значений  $\eta \approx 0.038$  «низкочастотное» значение равно  $\varepsilon''(\omega_2) \approx 26.2$  практически идеально согласуется со значением 26.3, определенным исходя из оптических констант.

В соответствии с условием Фрелиха [5], резонансное возбуждение поверхностных мод для релеевских частиц, аппроксимируемых эллипсоидами, имеет место, когда знаменатель элементов тензора поляризуемости частиц принимает минимальное значение:

$$\alpha_i = 4\pi abc \frac{\varepsilon - \varepsilon_m}{3\varepsilon_m - 3L_i(\varepsilon - \varepsilon_m)}, i = 1, 2, 3, \quad (7)$$

где  $\varepsilon, \varepsilon_m$  – соответственно диэлектрические проницаемости материала частицы и окружающей среды,  $a, b, c$  – длины осей эллипсоида, аппроксимирующего форму частицы,  $L_i$  – значения так называемых геометрических факторов. При этом усредненные по случайным ориентациям значения сечений рассеяния и поглощения эллипсоидальных частиц равны:

$$\begin{aligned} \langle C_{sca} \rangle &= \frac{k^4}{18\pi} (|\alpha_1|^2 + |\alpha_2|^2 + |\alpha_3|^2) \\ \langle C_{abs} \rangle &= \frac{k}{3} \text{Im}(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) \end{aligned} \quad (8)$$

где  $k$  – волновое число распространяющегося в ансамбле частиц излучения. Рассматривая исследуемые ГТК нанопластины как очень сплюснутые одноосные эллипсоиды вращения (сфероиды), получим условие Фрелиха, соответствующее резонансному увеличению сечений рассеяния и поглощения частиц в форме

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \varepsilon_m \left(1 - \frac{1}{L}\right); \\ \varepsilon &= \varepsilon_m \left(\frac{2L}{2L-1}\right), \end{aligned} \quad (9)$$

где для нанопластин  $L \rightarrow 0$ . Таким образом, для нанопластин условие Фрелиха распадается на два:  $\varepsilon \rightarrow 0$  (т.е. действительная часть диэлектрической функции должна стремиться к 0) и  $\varepsilon \rightarrow -\infty$  (что физически недостижимо). На рис. 3 показаны направления колебаний зарядов в дисковидных нанопластинах, соответствующие данным условиям.

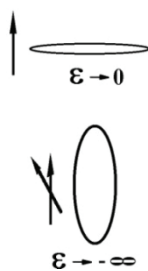


Рис. 3. Направления колебаний поверхностных мод низших порядков, соответствующих условию Фрелиха для наночастиц в форме дисков

Таким образом, полученный критерий позволяет объяснить появление двух пиков экстинкции в спектрах ГТК наночастиц как соответствие условию Фрелиха  $\varepsilon' \rightarrow 0$  для значений частоты распространяющегося электромагнитного излучения, на которых действительная часть диэлектрической функции обращается в 0 (или близка к 0). Отметим, что разработанная модель может быть также применена для количественных оценок параметров спектров экстинкции ТГК нанопластин – в частности, для определения отношения амплитуд высокочастотного и низкочастотного пиков экстинкции. В соответствии с [5], для усредненных по всем возможным ориентациям сечений рассеяния и поглощения наночастиц в форме диска можно записать

$$\begin{aligned} \langle C_{sca} \rangle &= \frac{k^4 v^2}{18\pi} |\varepsilon - 1|^2 \left[ \frac{1}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} + 2 \right]; \\ \langle C_{abs} \rangle &= \frac{kv}{3} \left[ \frac{1}{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2} + 2 \right] \varepsilon'', \end{aligned} \quad (10)$$

где  $v$  – объем наночастицы. Отношение амплитуд высокочастотного и низкочастотного пиков может быть представлено как

$$\begin{aligned} R_\mu &= \frac{\mu_t(\omega_{F1})}{\mu_t(\omega_{F2})} = \frac{\langle C_{sca} \rangle(\omega_{F1}) + \langle C_{abs} \rangle(\omega_{F1})}{\langle C_{sca} \rangle(\omega_{F2}) + \langle C_{abs} \rangle(\omega_{F2})} \approx \\ &\approx \left( \frac{\omega_{F1}}{\omega_{F2}} \right) \frac{(\omega_{F1}^3 n^3 / 6\pi c^3) \nu(1/\eta) + 1}{2[(\omega_{F2}^3 n^3 / 6\pi c^3) \nu(1/\eta) + 1]}. \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\mu_t$  – коэффициент экстинкции дисперсной системы. Анализируя полученное выражение, можно сделать вывод, что величина  $R_\mu$  существенным образом зависит от доминирующего механизма экстинкции, который, в свою очередь, определяется объемом частицы.

Представляет интерес сравнение значений  $R_\mu$  для рассматриваемых наночастиц пониженной размерности (квазидвумерных частиц) с трехмерными рассеивающими центрами, имеющими сферическую форму. Условие Фрелиха при этом имеет вид  $\varepsilon' = -2$ .

Принимая для простоты, что значения мнимой части диэлектрической проницаемости для сферических ГТК наночастиц на резонансных частотах близки к соответствующим модельным значениям для ГТК нанопластин, получим, что отношение пиков экстинкции для сферических частиц будет приблизительно равно

$$R_{\mu, sphere} = \frac{\mu_t(\omega_{F1})}{\mu_t(\omega_{F2})} \approx \left( \frac{\omega_{F1}}{\omega_{F2}} \right)^4 \left( \frac{9}{\eta^2} \right). \quad (12)$$

что существенно превышает аналогичный параметр для нанопластин. Таким образом, можно предположить, что переход от квазидвумерных к трехмерным формам рассеивателей будет сопровождаться возрастанием параметра  $R_\mu$ . Соответственно, данное отношение можно использовать в качестве косвенного индикатора кинетики процессов, ведущих к изменению морфологического состояния дисперсных наносистем, а также структурной стабильности подобных систем. Рис. 4 иллюстрирует поведение данного параметра для исследованных дисперсных наносистем на основе ГТК нанопластин с дистиллированной водой в качестве базовой среды и с добавками поверхностно-активных веществ. Для всех исследованных систем, за исключением системы с лаурилсульфатом в качестве поверхностно-активного вещества, наблюдается монотонное возрастание  $R_\mu$  с увеличением интервала времени после приготовления дисперсной системы. При этом также имеет место незначительное убывание

коэффициента экстинкции систем, поэтому эффект возрастания отношения пиков экстинкции предположительно может быть интерпретирован как следствие постепенной седиментации более крупных пластиноподобных наночастиц, в результате чего в дисперсии возрастает объемная доля мелких сфероидальных частиц. Возрастание  $R_{\mu}$  для образцов 1 и 3 может быть также обусловлено агрегацией нанопластин в квазитрехмерные кластеры с течением времени. Немонотонное поведение данного параметра в случае образца 2 предположительно может быть обусловлено конкуренцией процессов эксфолиации нанопластин и агрегации продуктов эксфолиации со смещением равновесного состояния к преобладанию квазидвумерных рассеивателей в системе на больших временах.

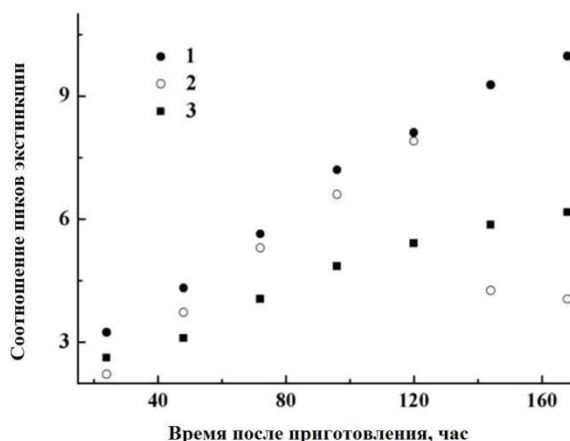


Рис. 4. Зависимость параметра  $R_{\mu}$  от времени после приготовления дисперсий ГТК нанопластин в дистиллированной воде без и с добавками поверхностно-активных веществ (1 – базовая среда – дистиллированная вода; 2 – базовая среда – дистиллированная вода + лаурилсульфат; 3 – базовая среда – дистиллированная вода + ОП-10)

Рассмотренные в данной работе подходы и полученные результаты могут быть использованы в качестве физической основы при разработке оптических методов анализа структурных характеристик дисперсных систем, состоящих из наночастиц с пониженной топологической размерностью (квазидвумерных и квазиодномерных объектов).

Авторы выражают благодарность сотрудникам кафедры общей химии Саратовского государственного университета имени Гагарина Ю.А. А.В. Гороховскому и Е.В. Третьяченко за предоставленные образцы дисперсных систем.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.B37.21.1080.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Plasmon resonances of a gold nanostar / F. Hao, C.L. Nehl, J.H. Hafner, P. Nordlander // *Nano Letters*. 2007. V. 7. P. 729-732.
2. Plasmons in strongly coupled metallic nanostructures / P. Nordlander, N.J. Halas, S. Lal et al. // *Chemical Reviews*. 2011. V. 111. P. 3913-3961.
3. A tunable plasmon resonance in gold nanobelts / L.J.E. Anderson, C.M. Payne, Y.-R. Zhen et al. // *Nano Letters*. 2011. V. 11. P. 5034-5037.
4. Khlebtsov B. Tunable depolarized light scattering from gold and gold/silver nanorods / V. Khanadeev, N. Khlebtsov // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2010. V. 12. P. 3210-3218.
5. Борен К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / К. Борен, Д. Хафмен. М.: Мир, 1986. 664 с.
6. Sanchez-Monjaras T. Molten salt synthesis and characterization of polytitanate ceramic precursors with varied TiO<sub>2</sub>/K<sub>2</sub>O molar ratio / A.V. Gorokhovskiy, J.I. Escalante-Garcia // *J. Am. Ceram. Soc.* 2008. V. 91. P. 3058-3065.
7. Ioffe Physical Technical Institute electronic archive [Электронный ресурс]//www.ioffe.ru/SVA/NSM/nk/Oxides/Gif/tio2.gif.

**Зимняков Дмитрий Александрович** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Dmitry A. Zimnyakov** – Dr. Sc., Professor  
Head: Department of Physics  
Gagarin Saratov State Technical University

**Ушакова Ольга Валерьевна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Техническая кибернетика и информатика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Olga V. Ushakova** – Ph. D., Associate Professor  
Department of Engineering Cybernetics and Informatics  
Gagarin Saratov State Technical University

**Ювченко Сергей Алексеевич** – аспирант кафедры «Физика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergei A. Yuvchenko** – Postgraduate  
Department of Physics  
Gagarin Saratov State Technical University

**Чекмасов Сергей Петрович** – аспирант кафедры «Физика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergei P. Chekmasov** – Postgraduate  
Department of Physics  
Gagarin Saratov State Technical University

**Потоцкий Илья Дмитриевич** – бакалавр кафедры «Физика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Ilya D. Pototsky** – Bachelor  
Department of Physics  
Gagarin Saratov State Technical University

**Горшков Никита Вячеславович** – бакалавр кафедры «Физика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Nikita V. Gorshkov** – Bachelor  
Department of Physics  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 621.385: 621.3.032

**А.Я. Зоркин, С.В. Семенов, М.С. Брюхова**

## **ДИНАМИКА ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ ПРИ ИХ ОТКАЧКЕ**

*Знание парциального состава газовой фазы позволяет определить температуры деталей и быстроты откачки из прибора на эти условия, определить оптимальное время откачки. Экспериментальное определение парциального состава газовой фазы в вакуумной системе не дает представления о составе газовой фазы в приборе. Поэтому представляют интерес теоретические модели парциального состава газовой фазы при откачке приборов.*

Электроравакуумный прибор, откачка, катод, парциальный состав, газовая фаза

**A.Ya. Zorkin, S.V. Semenov, M.S. Bryukhova**

## **DYNAMICS OF THE GASEOUS PHASE OF ELECTRONIC VACUUM DEVICES AT PUMPING**

*Knowledge of the partial composition of a gaseous phase makes it possible to determine the temperature of parts and speed of the device pumpdown under these conditions, and additionally determine the optimum time span for pumping. Experimental de-*



*termination of partial composition of the gaseous phase in a vacuum system does not show the gaseous phase composition inside the device. Therefore theoretical models of partial composition of the gaseous phase at the device pumping are of particular interest.*

Electronic vacuum device, pumping, cathode, partial composition, gaseous phase

### Введение

Знание парциального состава газовой фазы позволяет определить условия образования оксидных пленок на деталях, условия активирования оксид содержащих катодов, влияние вакуума и характеристик откачных средств, температуры деталей и быстроты откачки из прибора на эти условия, определить оптимальное время откачки. Экспериментальное определение парциального состава газовой фазы в вакуумной системе не дает представления о составе газовой фазы в приборе, так как условия измерения сильно отличаются от режимов обработки прибора. Поэтому представляют интерес теоретические модели парциального состава газовой фазы при откачке приборов.

### Модель состава газовой фазы

Рассмотрим процесс откачки на примере среднегабаритной ЛБВ, включающей камеры с катодным узлом 0, замедляющей системой 1 и коллектором 2, соединенные между собой каналами U0, U1 и с вакуумной системой 3 штенгелем U2 (рис. 1).

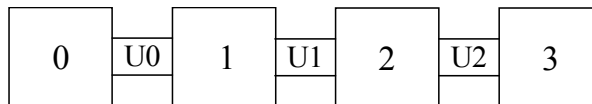


Рис. 1. Схема откачки среднегабаритной ЛБВ:

0 – камера с катодным узлом; 1 – камера с замедляющей системой; 2 – камера с коллектором; 3 – вакуумная система откачного поста; U<sub>0</sub>, U<sub>1</sub> = 10 мм; U<sub>2</sub>=20 мм

Состав газовой фазы определяется газообразующими примесями кислорода O, углерода C и водорода H, растворенными в материалах деталей или содержащимися в соединениях (оксидах, карбидах и др.). Основными составляющими газовой фазы являются CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>, образующиеся по реакциям:  $Op+Cr=CO$ ,  $2Op+Cr=CO_2$ ,  $Op+2Hr=H_2O$ ,  $Hr+Hr=H_2$ ,  $Cr+4Hr=CH_4$ , где Op, Cr, Hr – компоненты в растворах или в соединениях.

Для каждой камеры можно записать уравнения баланса составляющих CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в системе поверхность – газовая фаза и уравнения баланса компонентов O, C, H в системе объем детали – поверхность. Для каждой газовой составляющей в стационарном режиме поток десорбции по приведенным выше реакциям с поверхностями всех деталей камеры равен потоку этой составляющей из камеры:

$$\sum_d Q_{s_{di}} = \sum_u Q_{v_{ui}}, \quad (1)$$

где  $Q_{v_{ui}}$  – поток i-й составляющей через канал с номером u;  $Q_{s_{di}}$  – поток десорбции i-й составляющей с детали с номером d. Размерность всех потоков м<sup>3</sup> Па/с. Число уравнений вида (1) равно произведению числа составляющих g на число камер k. Потоки  $Q_{v_{ui}}$  включают также откачку встроенными насосами.

Для каждого компонента поток диффузии этого компонента к поверхности из объема равен сумме потоков десорбции составляющих, содержащих этот компонент. Например, для компонента O с учетом (1) уравнение баланса имеет вид

$$\sum_d Q_{c_{dj}} = \sum_u (Q_{v_{u0}} + 2 \cdot Q_{v_{u1}} + Q_{v_{u2}}), \quad (2)$$

где  $Q_{v_{u0}}$ ,  $Q_{v_{u1}}$ ,  $Q_{v_{u2}}$  – газовые потоки из камеры составляющих CO, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O;  $Q_{c_{dj}}$  – диффузионный поток j-го компонента в детали с номером d. Число уравнений вида (2) равно произведению числа компонентов c на число камер k.

Общее число уравнений вида (1) и (2) равно k(c+g). При k=3, c=3 и g=4 (давлением CH<sub>4</sub> пренебрегаем) общее число уравнений равно u=21. Неизвестными являются парциальные давления составляющих и активности компонентов во всех камерах. Предполагается, что активность данного

компонента в приповерхностных слоях всех деталей данной камеры одинакова. Это оправдано тем, что характерное время обмена частицами между поверхностями через газовую фазу значительно меньше характерного времени откачки. Поэтому устанавливается квазистационарное и квазиравновесное распределение компонентов между приповерхностными слоями всех деталей камеры в соответствии с материалами и температурами этих деталей.

При образовании или травлении оксидов в уравнения баланса должны быть добавлены соответствующие скорости. В данной работе предполагается, что эти скорости незначительны по сравнению с потоками компонентов из твердых растворов, т.е. состав газовой фазы определяется газовыделением из деталей с низким сродством к кислороду, площадь которых преобладает.

#### Потоки составляющих и компонентов

Потоки десорбции составляющих газовой фазы с поверхностей деталей  $Q_s$  в общем случае определяются из выражения [1]:

$$Q_s = Q_s^0 \cdot [1 - \exp(-\frac{A}{R \cdot T})], \quad (3)$$

где  $Q_s^0$  – равновесный поток (в равновесии между приповерхностным слоем и газовой фазой);  $A$  – химическое сродство реакции.

Равновесный поток составляющей можно определить по равновесному потоку адсорбции:

$$Q_s^0 = S \cdot a \cdot \nu \cdot P^o, \quad (4)$$

где  $S$  – площадь детали;  $a$  – коэффициент порядка единицы, определяющий вероятность десорбции;  $\nu$  – средняя скорость молекул составляющей;  $P$  – равновесное с приповерхностным слоем давление составляющей, Па.

Равновесные давления составляющих определяются по формулам [2]:

$$\begin{aligned} P_{CO}^o &= a_{Os} \cdot a_{Cs} \cdot K_{CO} \cdot P_A, \\ P_{CO_2}^o &= a_{Os}^2 \cdot a_{Cs} \cdot K_{CO_2} \cdot P_A, \\ P_{H_2O}^o &= a_{Os} \cdot a_{Hs}^2 \cdot K_{H_2O} \cdot P_A, \\ P_{H_2}^o &= a_{Hs}^2 \cdot P_A, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $K_{CO}$ ,  $K_{CO_2}$ ,  $K_{H_2O}$  – константы равновесия образования CO, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O из простых веществ;  $P_A = 10^5$  Па;  $a_{Os}$ ,  $a_{Cs}$ ,  $a_{Hs}$ , активности компонентов O, C, H в приповерхностных слоях деталей. Эти активности связаны с приповерхностными концентрациями соотношениями

$$\begin{aligned} a_{Os} &= c_O \cdot a_O^o, \\ a_{Cs} &= c_C \cdot a_C^o, \\ a_{Hs} &= c_H \cdot a_H^o, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $c_O = C_O/C^o_O$ ,  $c_C = C_C/C^o_C$ ,  $c_H = C_H/C^o_H$  – относительные концентрации O, C и H в приповерхностном слое;  $C_O$ ,  $C_C$ ,  $C_H$ ,  $C^o_O$ ,  $C^o_C$ ,  $C^o_H$  – абсолютные фактические и стандартные концентрации O, C и H (в равновесии с оксидом, карбидом и водородом при  $P_A = 10^5$  Па), моль/м<sup>3</sup>;  $a_O^o = K_{Ox}^{-1}$ ,  $a_C^o = K_C^{-1}$ , активности кислорода и углерода в трехфазном равновесии оксид (карбид)-раствор-газ при условии равенства активности металла единице, что выполняется при низкой растворимости компонентов;  $a_H^o = 1$  – активность водорода при  $P_A = 10^5$  Па;  $K_{Ox}$ ,  $K_C$  – константы равновесия образования низших оксидов и карбидов из простых веществ в расчете на один моль атомов O и C в соединениях. По определению активности кислорода и водорода равны  $a_O = \sqrt{p_{O_2}}$ ,  $a_H = \sqrt{p_{H_2}}$ , где  $p_{O_2}$ ,  $p_{H_2}$  – фактические парциальные давления молекулярного кислорода и водорода, атм. Активность углерода определяется как  $a_C = p_C/p^o_C$ , где  $p_C$ ,  $p^o_C$  – фактическое давление одноатомных паров углерода и давление этих паров над простым веществом (графитом) при заданной температуре.

Сродство реакции  $Op+Cr=CO$  определяется по выражению

$$A_1 = -\ln\left(\frac{P_{CO}}{c_O \cdot c_C \cdot K_1 \cdot P_A}\right), \quad (7)$$

где  $K_1 = \frac{K_{CO}}{K_{Ox} \cdot K_C}$  – константа равновесия реакции  $Op+Cr=CO$ ;  $P_{CO}$  – фактическое давление CO, Па.

С учетом приведенных соотношений поток десорбции CO, согласно (3), равен

$$Q_s = S \cdot a \cdot v \cdot (P_{CO}^o - P_{CO}). \quad (8)$$

Аналогично определяются потоки десорбции для других составляющих газовой фазы.

Потоки газовых составляющих из камеры определяются по формуле

$$Q_{v_u} = U_u \cdot (P_1 - P_2), \quad (9)$$

где  $P_1 - P_2$  – разность давлений составляющей в соседних камерах;  $U_u$  – проводимость канала с номером  $u$ . Предельное давление откачных средств учитывается с помощью обратных потоков через штенгель, при этом  $P_2$  характеризует парциальный состав остаточных газов откачных средств.

Так как удаление примесей происходит из тонкого приповерхностного слоя, диффузионный поток компонентов O, C, H можно определить как для полубесконечного тела:

$$Q_{c_{dj}} = S \cdot R \cdot T \cdot \sqrt{\frac{D_j}{\pi \cdot t}} \cdot (C_j^o - C_j), \quad (10)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура, К;  $D_j$  – коэффициент диффузии  $j$ -го компонента,  $m^2/c$ ;  $t$  – время, с.

Абсолютные концентрации выражаются через активности по соотношениям вида (6). Стандартные растворимости и коэффициенты диффузии компонентов определяются по эмпирическим выражениям [3].

#### Условия активирования катодов и образования соединений

Окисление металлических деталей и образование карбидов возможны, если активность кислорода и углерода в газовой фазе выше активности кислорода в оксиде  $a^o_O$  и активности углерода в карбиде  $a^o_C$ . Скорость образования соединений определяется соответствующими градиентами химического потенциала кислорода, углерода и температурой.

Активность кислорода в газовой фазе определяется по парциальному составу:

$$a_{Og} = \frac{P_{CO_2}}{P_{CO} \cdot K_2} \quad \text{или} \quad a_{Og} = \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2} \cdot K_3}, \quad (11)$$

где  $K_2, K_3$  – константы равновесия реакций  $CO + 0.5O_2 = CO_2$  и  $H_2 + 0.5O_2 = H_2O$ .

Активность углерода можно определить, например, по парциальному давлению CO согласно реакции  $C + 0.5O_2 = CO$ :

$$a_{Cg} = \frac{P_{CO}}{P_A \cdot K_{CO} \cdot a_{Og}}. \quad (12)$$

Из условия образования оксида  $a_{Og} > a^o_O$  и карбида  $a_{Cg} > a^o_C$  при заданном парциальном составе определяется температура детали, ниже которой на ней образуются соединения. Обратные неравенства определяют условия разложения соединений.

Эмиссионная активность оксидсодержащих катодов определяется достаточно высокой активностью бария в сложных оксидах. Последняя, согласно реакции  $Ba + 0.5O_2 = BaO$ , равна

$$a_{Ba} = \frac{a_{BaO}}{a_{Og} \cdot K_{BaO}}, \quad (13)$$

где  $a_{BaO}$  – активность оксида бария в сложном оксиде;  $K_{BaO}$  – константа равновесия образования оксида бария из простых веществ.

Активность кислорода в сложных оксидах катодов определяется активностью кислорода в газовой фазе или в подложке. Для активирования катодов активность кислорода в приборе должна быть ниже активности кислорода в оксиде конгруэнтного состава. Последняя определяется из условия минимума общего давления паров оксида [2]. При рабочих температурах оксидсодержащих катодов (оксидных, алюминатных, торированных и др.) эта активность составляет  $\approx 10^{-12}$ . Таким образом, критерием активирования катодов является снижение активности кислорода в приборе ниже значения  $\approx 10^{-12}$ .

Для металлосплавных катодов получение высоких вторично-эмиссионных свойств обеспечивается образованием оксида бария на поверхности сплава. Это возможно, согласно (13), если  $a_O > (a_{Ba} \cdot K_{BaO})^{-1}$ , где  $a_{Ba} = K_{in}^{-1}$ ,  $K_{in}^{-1}$  – константа образования интерметаллида  $Pd_5Ba$  из простых веществ.

#### Обсуждение результатов

Система уравнений (1), (2) решалась в редакторе Mathcad для схемы ЛБВ с алюминатным катодом, приведенной на рис. 1. В качестве начальных приближений принимались для активностей

компонентов O, C, H их активности в растворах со стандартной растворимостью и равновесные парциальные давления CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>. Температуры деталей соответствовали режимам откачки при термическом обезгаживании и тренировке катода. На рис. 2 показаны зависимости парциальных давлений, а на рис. 3 – зависимости активностей компонентов от времени в камере с катодным узлом при термическом обезгаживании прибора при температуре 900 К. На рис. 4 представлены зависимости общего и парциальных потоков CO, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O из прибора от времени.

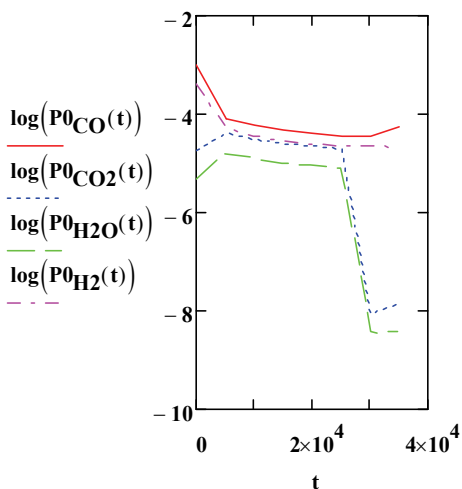


Рис. 2. Зависимость парциальных давлений (Па) CO (1), CO<sub>2</sub> (2), H<sub>2</sub>O (3) и H<sub>2</sub> (4) от времени (с) в катодной области при термическом обезгаживании прибора (T=900 К)

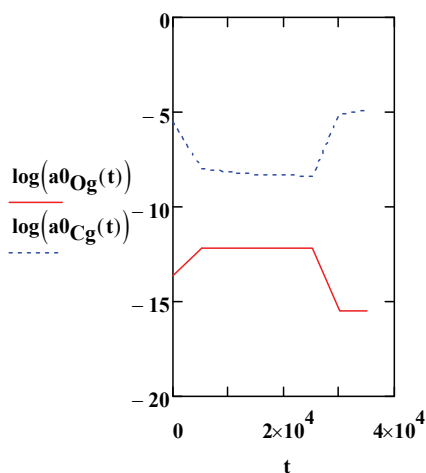


Рис. 3. Зависимость активностей кислорода (1) и углерода (2) от времени (с) в катодной области при термическом обезгаживании прибора (T=900 К)

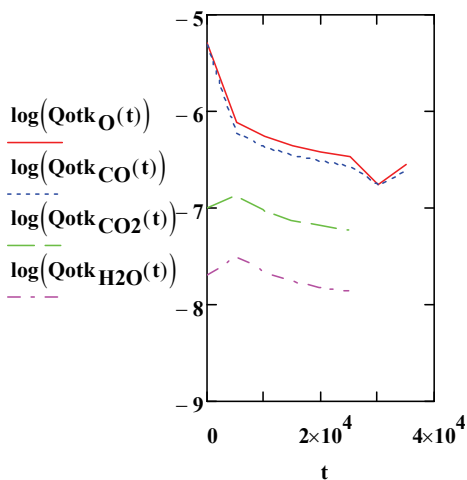


Рис. 4. Зависимость общего (1) и парциальных потоков (м<sup>3</sup>Па/с) CO (2), CO<sub>2</sub> (3) и H<sub>2</sub>O (4) из прибора от времени (с) при термическом обезгаживании прибора (T=900 К)

Анализ полученных зависимостей показывает, что в процессе прогрева прибора в катодных частях активность кислорода повышается, а активность углерода снижается. При этом активные металлы находятся в режиме окисления, а условия для активирования катода не выполняются. Для повышения ресурса геттерных материалов в процессе прогрева они должны находиться в неактивном состоянии, то есть на их поверхности должна сохраняться исходная оксидная пленка, препятствующая поглощению газовой фазы.

В конце процесса прогрева прибора активность кислорода снижается, а активность углерода повышается. Это свидетельствует о переносе углерода на катодные части прибора вследствие смещения реакции  $Op+Cr=CO$  влево. Условия для активирования катода выполняются при повышении температуры катода до 1200 К.

Быстрота откачки из прибора при диаметре штенгеля более 20 мм слабо влияет на время откачки, т.е. на количество удаленных примесей O, C и H из прибора и создание условий для активирования катода. Напротив, чрезмерное увеличение проводимости штенгеля и времени обработки прибора приводит к отрицательным потокам  $CO_2$  и  $H_2O$  из вакуумной системы в прибор. Длительное обезгаживание вызывает перенос углерода на слишком «чистые» детали из материалов с высоким сродством к кислороду, что на практике наблюдается в виде углеродного налета. Таким образом, условия для активирования катода желательнее создавать встроенными средствами откачки после герметизации прибора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пригожин И. Современная термодинамика / И. Пригожин, Д. Кондепуди. М.: Мир, 2002. 461 с.
2. Зоркин А.Я. Откачка электронных приборов / А.Я. Зоркин, Г.В. Конюшков. Саратов: СГТУ, 2006. 287 с.
3. Смитлз К.Дж. Металлы / К.Дж. Смитлз. М.: Металлургия, 1980. 447 с.

**Зоркин Александр Яковлевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электронное машиностроение и сварка» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Aleksander Y Zorkin** – Dr.Sc., Professor  
Department of Electronic Engineering and Welding  
Gagarin Saratov State Technical University

**Семенов Станислав Валерьевич** – заведующий лабораторией кафедры «Электронное машиностроение и сварка» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Stanislav V. Semenov** – Head of Laboratory,  
Department of Electronic Engineering and Welding  
Gagarin Saratov State Technical University

**Брюхова Марина Сергеевна** – магистрант кафедры «Электронное машиностроение и сварка» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Marina S. Bryukhova** – Postgraduate  
Department of Electronic Engineering and Welding  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 517.9:521+523.3:629.7

**Ю.А. Окишев, Ю.В. Клинаев**

#### **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПЕРЕЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С НИЗКОЙ ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЫ В ТОЧКУ ЛИБРАЦИИ L1 СИСТЕМЫ «ЗЕМЛЯ-ЛУНА» КАК РЕШЕНИЕ ЧАСТНОЙ ОГРАНИЧЕННОЙ ЗАДАЧИ ТРЕХ ТЕЛ С УЧЕТОМ ПРЕЦЕССИИ ОРБИТЫ ЛУНЫ**

*Разработана численно-аналитическая модель баллистического анализа доставки космического аппарата с химическим ракетным двигателем с низкой околоземной орбиты в точку либрации L1 системы «Земля-Луна». Найдены опти-*

*мальные даты старты, время перелета и потребные импульсы скорости. Для проведения математического моделирования использовалась система автоматизированного проектирования и компьютерной алгебры MathCAD.*

Математическое моделирование, баллистический анализ, точка либрации, L1, система «Земля-Луна»

**Yu.A. Okishev, Yu.V. Klinaev**

**DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR THE BALLISTIC FLIGHT ANALYSIS OF A SPACECRAFT FROM LOW-EARTH ORBIT TO THE LIBRATION POINT L1 OF THE «EARTH-MOON» AS THE DECISION OF A PRIVATE LIMITED THREE-BODY PROBLEM WITH CONSIDERATION FOR THE MOON ORBIT**

*A numerical-analytical model has been developed for the ballistic analysis made for the delivery of a spacecraft having a chemical rocket engine from low-Earth orbit in the L1 libration point of the «Earth-Moon». The optimal launch date, flight time, and the needed speed pulses have been determined. To perform the mathematical modeling CAD system and computer algebra MathCAD have been used.*

Mathematic modeling, ballistic analysis, libration point, L1, the system «Earth-Moon»

При космических исследованиях других планет Солнечной системы, Солнца или Луны возникает необходимость в создании мобильных станций обслуживания или ретрансляционных пунктов в окрестностях точек либрации – точек в системе двух гравитирующих тел, в окрестности которых пренебрежимо малое тело остается неподвижным относительно них.

Работа посвящена разработке математической модели и алгоритма поиска оптимальной баллистической траектории космического аппарата (КА) с химическим ракетным двигателем (ХРД) при перелете с низкой круговой околоземной орбиты (ее высоту принимаем равной 300 км) в точку либрации L1 системы «Земля – Луна».

В качестве критерия оптимизации предлагается рассматривать суммарный импульс. Задача проектно-баллистического анализа сводится к поиску минимального суммарного импульса скорости  $\Delta V_{\Sigma}$  и, как следствие, по формуле Циолковского (1), минимально потребного топлива для перелета. Такой подход является общепризнанным [1] для проведения баллистического анализа.

$$m_T = m_0 \left[ 1 - \exp \left( - \frac{\Delta V_{\Sigma}}{I_y} \right) \right], \quad (1)$$

где  $m_T$  – масса топлива КА,  $m_0$  – начальная масса КА,  $I_y$  – удельный импульс тяги, который задается двигательной установкой КА.

Будем рассматривать схему перелета с двумя включениями ХРД между некомпланарными орбитами, где первый импульс скорости  $\Delta V_1$  реализует переход КА на перелетный эллипс, лежащий в плоскости орбиты базовой орбиты, а второй импульс – скорости  $\Delta V_2$  (2) в апогее перелетного эллипса реализует поворот плоскости орбиты на требуемый угол  $\Delta i$  и переход на орбиту точки либрации L1 (рис. 1). Для предварительного анализа используется методическая идея импульсной аппроксимации активных участков полета. Исходя из физических свойств коллинеарной точки либрации L1 очевидно, что точка L1 принадлежит радиус-вектору и плоскости орбиты Луны:

$$\overrightarrow{\Delta V_2} = \overrightarrow{V_{L1}} - \overrightarrow{V_{KA_{L1}}}, \quad (2)$$

По теореме косинусов получаем:

$$\Delta V_2 = \sqrt{V_{L1}^2 + V_{KA_{L1}}^2 - 2 \cdot V_{L1} \cdot V_{KA_{L1}} \cdot \cos \Delta i}, \quad (3)$$

где  $\overrightarrow{V_{L1}}$  – вектор скорости точки либрации L1,  $\overrightarrow{V_{KA_{L1}}}$  – вектор скорости КА в точке либрации L1,  $\Delta i$  – разница между наклонениями орбит.

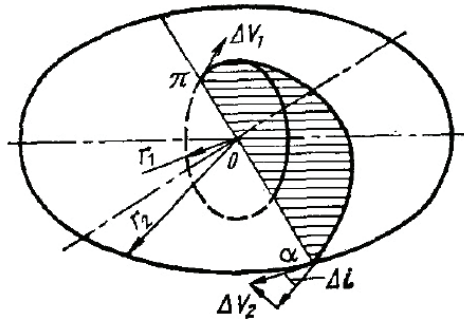


Рис. 1. Схема двухимпульсного перелета

Для проведения анализа полагаем, что начало системы координат расположено в центре Земли, плоскость x-y совпадает с плоскостью эклиптики, ось x направлена в точку весеннего равноденствия. Ось z направлена в северный полюс Мира, ось y дополняет до правой тройки. Можно считать, что угол между плоскостью эклиптики и плоскостью земного экватора постоянен и равен 23,4354°.

Наклонение низкой околоземной (базовой) орбиты примем за 51,6° (старт с космодрома «Байконур»).

Из-за прецессии орбиты Луны ее наклонение к плоскости экватора Земли меняется с периодичностью в 18,6 лет. Исходя из энергетики перелета (3), выберем эпоху, когда наклонение орбиты Луны максимально, чтобы значение разности наклонений базовой и Лунной орбиты было минимальным.

За дату рассматриваемой эпохи выбираем 1 января, 12 часов дня каждого рассматриваемого года. Найдем наклонение орбиты Луны по формуле (4):

$$\cos i_{\text{Луны}} = \frac{\sigma_z}{|\vec{\sigma}|}, \tag{4}$$

$$\vec{\sigma} = \vec{r}_{\text{Луны}} \times \vec{V}_{\text{Луны}}. \tag{5}$$

$$\sigma_z = x \cdot V_y - y \cdot V_x, \tag{6}$$

где  $\vec{\sigma}$  – вектор интеграла площадей орбиты Луны,  $\sigma_z$  – проекция вектора – интеграла площадей орбиты Луны на ось z, x и y – проекции радиус-вектора Луны на оси x и y соответственно,  $V_x$  и  $V_y$  – проекции вектора скорости Луны на оси x и y соответственно.

Радиус-вектор Луны и значение скорости, а также их проекции по осям возьмем из планетария DE-405, который разработан в JPL (Jet Propulsion Laboratory). Выберем эпоху, когда наклонение орбиты Луны максимально. Как видно из табл. 1, наклонение орбиты Луны максимально и составляет 28,443° в 2025 году, при этом будем считать, что в выбранную эпоху наклонение орбиты не изменится.

Таблица 1

Зависимость наклонения орбиты Луны от эпохи

Год	$i_{\text{Луны}}, ^\circ$	Год	$i_{\text{Луны}}, ^\circ$	Год	$i_{\text{Луны}}, ^\circ$
2012	22,513	2018	20,075	2024	28,195
2013	20,881	2019	21,568	2025	28,443
2014	19,526	2020	23,253	2026	28,258
2015	18,633	2021	24,894	2027	27,638
2016	18,396	2022	26,327	2028	26,584
2017	18,959	2023	27,458	2029	25,174

Так как в данной задаче влияние гравитации Луны на КА существенно, то использовать решения ограниченной задачи двух тел (7) некорректно. Будем использовать решение ограниченной задачи трех тел (8), в которой движение КА массы m, рассматривается в системе двух гравитирующих масс  $M_1$  и  $M_2$  (Земли и Луны, соответственно) [2].

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = f \frac{m M_3}{r^2}, \quad (7)$$

где  $m$  – масса КА,  $r$  – радиус-вектор КА относительно центра Земли,  $t$  – время,  $f$  – гравитационная постоянная,  $M_3$  – масса Земли.

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = f \frac{M_1}{R_1^3} (R_1 - R) + f \frac{M_2}{R_2^3} (R_2 + R), \quad (8)$$

$$R_1 = a \cdot \frac{f M_2}{f M_2 + f M_1}, \quad (9)$$

$$R_2 = a \cdot \frac{f M_1}{f M_2 + f M_1}, \quad (10)$$

где  $M_1$  – масса Земли,  $M_2$  – масса Луны,  $R$  – радиус-вектор КА относительно общего барицентра (БЦ),  $R_1$  – расстояние от БЦ до центра Земли,  $R_2$  – расстояние от общего БЦ до центра Луны,  $a$  – большая полуось орбиты Луны.

Для ограниченной задачи трех тел в точке либрации относительное ускорение КА равно нулю, тогда уравнение движения для точки L1 можно записать в следующем виде:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = \varpi^2 \cdot R + f \frac{M_2}{(R_2 - R)^2} - f \frac{M_1}{(R_1 + R)^2}, \quad (11)$$

$$\varpi = 2 \cdot \frac{\pi}{T}, \quad (12)$$

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{a^3}{f \cdot (M_1 + M_2)}}, \quad (13)$$

где  $\varpi$  – скорость вращения Луны вокруг Земли,  $T$  – период обращения Луны вокруг Земли, первое слагаемое правой части уравнения (11) характеризует кориолисово ускорение, второе и третье – влияние гравитации Луны и Земли соответственно.

Приравнявая правую часть уравнения (11) в произвольный момент времени к нулю, найдём расстояние от барицентра системы «Земля-Луна» до точки либрации  $R$ . По уравнению (14) найдем расстояние от центра Земли до точки либрации L1 системы «Земля – Луна»  $R_{L1}$ .

$$R_{L1} = R + R_1, \quad (14)$$

Для дальнейших расчетов введем коэффициент  $X_{L1}$  (15), который характеризует относительное расстояние от центра Земли до точки либрации L1. В дальнейшем, умножая на этот коэффициент расстояние от Земли до Луны в любой момент времени можем определить расстояние до точки либрации L1. При этом скорость точки либрации  $V_{L1}$  (16) найдем из подобного треугольника (рис. 2)

$$X_{L1} = \frac{R_{L1}}{R_1 + R_2}, \quad (15)$$

$$V_{L1} = V_{Moon} \cdot \frac{R_{L1}}{R_1 + R_2}, \quad (16)$$

где  $R_{L1}$  – расстояние от центра Земли до L1,  $V_{Moon}$  – скорость Луны относительно Земли.

Зафиксируем дату выведения КА в точку либрации L1 и найдем решения для каждой выбранной даты. Т.к. период обращения Луны вокруг Земли составляет около 28 суток, то можем выбрать произвольно любой месяц и рассматривать решения в рамках этого месяца. Изменение наклона орбиты Луны от месяца к месяцу в выбранном году незначительны.

Существует 2 типа решения поставленной задачи: при перелете из восходящего узла орбиты (рис. 3) и из нисходящего узла орбиты (рис. 4).

Полагая заданным наклонение базовой орбиты, найдем долготы восходящего узла этой орбиты из условия того, что радиус-вектор точки либрации принадлежал бы базовой орбите в момент подлета КА в точку либрации. В этом случае плоскость перелета в точку либрации будет совпадать с плоскостью базовой орбиты.



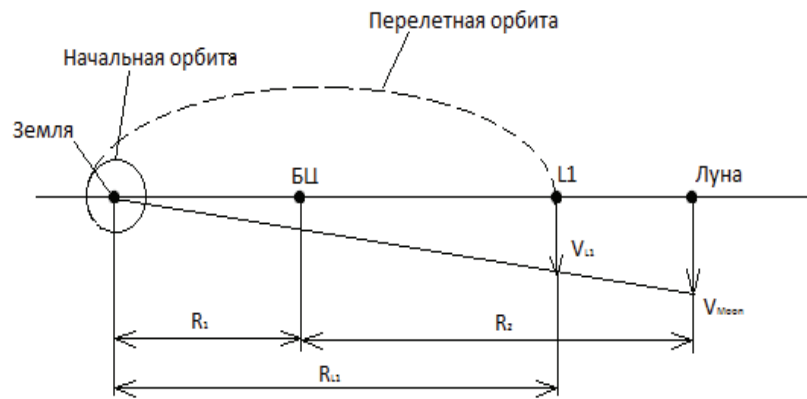


Рис. 2. Упрощенная схема перелета

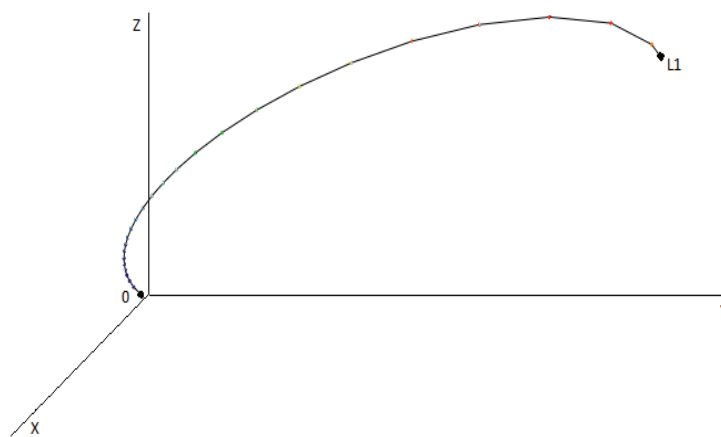


Рис. 3. Траектория орбиты при перелете из восходящего узла орбиты, где L1 – точка либрации, 0 – положение КА в момент старта

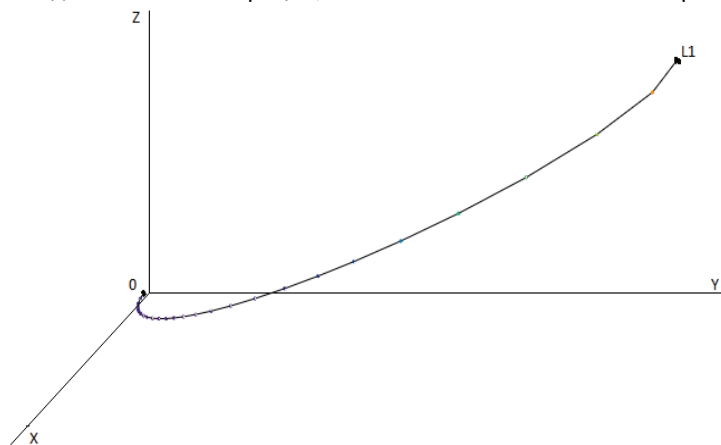


Рис. 4. Траектория орбиты при перелете из нисходящего узла орбиты, где L1 – точка либрации, 0 – положение КА в момент старта

Для найденных двух долгот восходящего узла можно найти аргумент широты радиус-вектора точки старта на базовой орбите, антиколлинеарный радиус-вектору точки либрации.

Решим ограниченную задачу трех тел, применив адаптивный метод Рунге-Кутты 6-го порядка (Кутты-Мерсона) с переменным шагом интегрирования для выбранных долгот восходящего узла и аргумента широты. По проекциям траектории КА на плоскости XY и XZ обнаруживаем, что в точку либрации L1 системы «Земля-Луна» не попадаем.

Варьируем значение долготы восходящего узла и аргумента широты для того, чтобы получить необходимый первый импульс для попадания в точку либрации для выбранной даты подлета. Решая

краевую задачу в среде MathCAD [2], найдем долготу восходящего узла, аргумент широты и первый импульс скорости для выбранной даты подлета в точку либрации. При проекции на плоскости XY и XZ «промаха» не обнаруживаем. Зная начальные параметры орбиты и первый импульс скорости, мы можем определить второй необходимый импульс скорости.

Решая оптимизационную задачу в среде MathCAD [2], найдем такое оптимальное время перелета для выбранной даты попадания в точку либрации, когда импульс скорости минимальный (рис. 5).

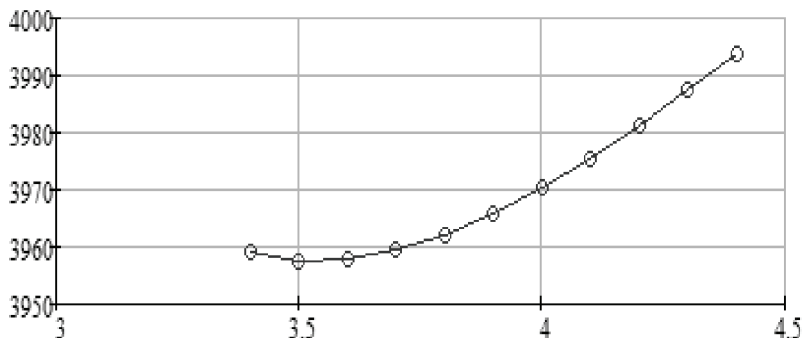


Рис. 5. Зависимость значений суммарного импульса (м/с) скорости относительно времени перелета

Численно решая дифференциальное уравнение движения, с учетом ранее полученных данных, найдем конечный радиус-вектор перелетной орбиты и сравним его с радиус-вектором точки либрации для определения точности попадания в точку либрации. Расхождение составляет порядка  $10^{-9}$  м, соответственно, можем утверждать, что мы попали в точку либрации.

Найдем требуемые значения (второй импульс скорости, оптимальное время перелета, долгота восходящего узла, аргумент широты и суммарный импульс скорости) для всего рассматриваемого диапазона дат старта с шагом в 2 дня в апреле 2025 года. Построим графики зависимостей этих значений от даты попадания в точку либрации L1 для обоих решений.

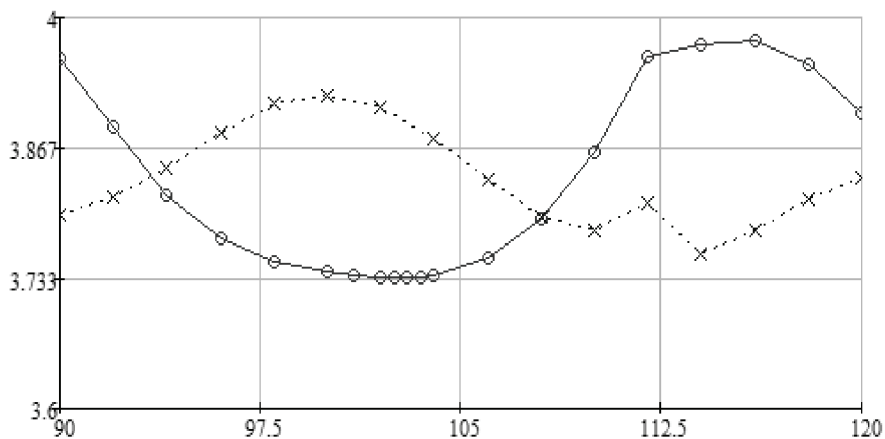


Рис. 6. Зависимость значений суммарного импульса скорости ( $10^3$  м/с) от даты попадания в точку либрации L1. Сплошной линией показаны значения для старта из восходящего, пунктирной линией – для нисходящего узла

Таким образом, в рамках рассмотрения апреля в качестве выбранной эпохи, можем сделать вывод, что оптимальной датой попадания в точку либрации L1 системы «Земля-Луна» является 103-й день (рис. 6), что соответствует 12 часам дня 13 апреля 2025 года. При этом оптимальное время перелета составляет 4,25 суток (табл. 2) при старте из окрестности восходящего узла базовой орбиты.

Проведя подобный анализ для августа 2025 года, видим, что характер зависимостей не изменится, отсюда можно сделать вывод, что для оценки энергетике в выбранном году можно рассматривать любой из месяцев.

Таблица 2

Значения второго импульса скорости, оптимального времени перелета, долготы восходящего узла, аргумента широты и суммарного импульса скорости в зависимости от даты подлета к точке либрации L1 системы «Земля-Луна» для старта из нисходящего узла орбиты

Дата подлета с начала эпохи, дней	$\Delta V_2$ , м/с	$T_{opt}$ , дней	$\Omega$ , °	$u$ , °	$\Delta V_{\Sigma}$ , м/с
90	713.937	3.523	20.819	-156.875	3798
92	728.963	3.523	42.923	-144.418	3816
94	754.329	3.643	72.787	-141.974	3845
96	790.256	3.81	107.042	-148.97	3883
98	816.785	3.973	140.376	-161.394	3912
100	824.073	4.11	171.446	-175.933	3920
102	810.873	4.21	201.494	169.401-360	3908
104	779.330	4.273	232.07	156.135-360	3876
106	737.161	4.293	263.596	146.128-360	3834
108	700.458	4.257	293.872	141.938-360	3796
110	688.550	4.15	-40.905+360	145.616-360	3782
112	721.435	3.947	-21.519+360	156.809-360	3811
114	675.648	3.913	-5.85+360	170.982-360	3758
116	699.287	3.697	8.352+360	-170.279	3782
118	729.804	3.493	26.369+360	-152.726	3813
120	749.546	3.483	51.451+360	-142.708	3836

Таблица 3

Значения второго импульса скорости, оптимального времени перелета, долготы восходящего узла, аргумента широты и суммарного импульса скорости в зависимости от даты подлета к точке либрации L1 системы «Земля-Луна» для старта из восходящего узла орбиты

Дата подлета с начала эпохи, дней	$\Delta V_2$ , м/с	$T_{opt}$ , дней	$\Omega$ , °	$u$ , °	$\Delta V_{\Sigma}$ , м/с
90	873.741	3.527	-129.531	-23.199	3958
92	802.393	3.523	-89.992	-34.544	3889
94	726.620	3.643	-56.42	-36.751	3817
96	679.608	3.81	-32.793	-29.919	3773
98	655.950	3.973	-16.509	-17.831	3751
100	644.094	4,11	-3.72	-3.705	3740
101	640.510	4.167	2.231	3.5	30737
102	638.228	4.213	8.25	10.563	3735
102.5	637.669	4.233	11.366	13.985	3735
103	637.607	4.25	14.6	17.305	3735
103.5	638.159	4.263	17.988	20.498	3735
104	639.467	4.277	21.57	23.523	3737
106	655.593	4.297	38.756	33.316	3753
108	697.085	4,26	62.599	37.308	3793
110	769.007	4.153	-266.269+360	33.423	3863
112	870.575	3.957	-230.792+360	22.170	3961
114	894.654	3.803	-194.74+360	5.29	3971
116	868.553	3.693	-158.396+360	-11.709	3977
118	791.648	3.497	-118.296+360	-27.129	3952
120	732.629	3.483	-78.794+360	-36.203	3903

Численными результатами проведённого баллистического анализа можно считать следующие данные:

1. Оптимальной датой попадания в точку либрации L1 является 13 апреля 2025 года, при этом время перелета составляет 4,25 дня.
2. Суммарный импульс скорости равен 3735 м/с, где первый импульс скорости составляет 3097 м/с, а второй импульс скорости – 637,607 м/с.
3. Оптимальная траектория реализуется при перелете из восходящего узла орбиты.

Таким образом, разработана математическая модель и алгоритм поиска оптимальной баллистической траектории КА с ХРД при перелете с низкой круговой околоземной орбиты в точку либрации L1 системы «Земля – Луна» для любой эпохи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Константинов М.С. Механика космического полета: учеб. для вузов / М.С. Константинов, Е.Ф. Каменков, Б.П. Перелыгин, В.К. Безвербый, В.П. Мишин; под ред. В.П. Мишина. М.: Машиностроение, 1989. 407 с.
2. Себехей В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел; пер. с англ. / В. Себехей; под ред. Г.Н. Дубошина. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1982. 656 с.
3. Ракитин В.И. Руководство по методам вычислений и приложений MATHCAD: учеб. пособие / В.И. Ракитин. М.: Физматлит, 2005. 264 с.

**Окишев Юрий Александрович** – аспирант кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Yuri A. Okishev** – Postgraduate of the Department Technical Physics and Information Technology Engels Institute of Technology Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Клинаев Юрий Васильевич** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Yuri V. Klinaev** – Dr. Sc., Professor of the Department Technical Physics and Information Technology Engels Institute of Technology 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. Байбурин**

#### **АНАЛИЗ РЕГУЛЯРНЫХ И ХАОТИЧЕСКИХ ТРАЕКТОРИЙ ЗАРЯДОВ В ЗАРЯЖЕННОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ПУЧКЕ**

*Проведён анализ траекторий зарядов в заряженном цилиндрическом пучке с учётом полей пространственного заряда и неоднородного магнитного поля.*

Скрещенные поля, уравнения движения

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

#### **ANALYSIS OF REGULAR AND CHAOTIC CHARGES TRAJECTORIES IN CHARGED CYLINDRICAL BEAM**

*The analysis of the charges trajectories in charged cylindrical beam with space charge fields and non-uniform magnetic field.*

Cross fields, equations of motion

Особенности траекторий зарядов, как правило, определяют характеристики приборов и устройств со скрещенными электрическими и магнитными полями. Анализ этих траекторий всегда остаётся актуальным также с точки зрения понимания механизма процессов и развития теории отмеченных систем.

Одним из основных элементов механизма функционирования подобных систем: усилителей СВЧ-сигналов, магнитных ловушек и др. являются заряженные пучки, той или иной формы, в частности цилиндрической. В простейшей постановке задачи [1] задаются однородные в пространстве магнитные и электрические поля, направленные вдоль оси пучка, без учёта полей пространственного заряда пучка. При этом траектории имеют вид регулярной трёхмерной спирали, растянутой вдоль оси пучка [1, 2].

Представляет интерес провести анализ траекторий зарядов, регулярных и хаотических с учётом полей зарядов пучка и неоднородного магнитного поля с применением критериев нелинейной динамики [3].

Анализ проводился применительно к схеме, изображённой на рис. 1, где  $r_s$  – радиус пучка,  $B_z$  – индукция магнитного поля вдоль оси пучка,  $E_z$  – электрическое поле вдоль оси пучка,  $\rho$  – плотность зарядов в пучке.

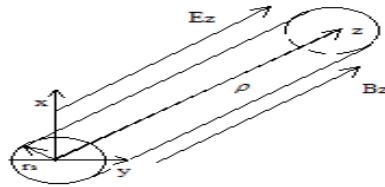


Рис. 1. Схема заряженного пучка

Применительно к схеме на рис. 1 уравнения движения заряда в декартовой системе координат имеют вид:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= \eta E_x + \eta B_z \dot{y} \\ \ddot{y} &= -\eta E_y + \eta B_z \dot{x} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \ddot{z} &= \eta E_z \\ B_z &= B_0 + \Delta B_z \sin(r) \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\Delta B_z$  – амплитуда изменения неоднородного вдоль радиуса магнитного поля,  $E_x, E_y$  – поля пространственного заряда пучка с плотностью  $\rho$ ,  $\eta = \frac{q}{m_0}$  – отношение заряда частицы к его массе. Согласно теореме Гаусса можно записать

$$E_x = \begin{cases} \frac{\rho r_s^2 x}{2\epsilon_0 r^2}, & r > r_s \\ \frac{\rho x}{2\epsilon_0}, & r < r_s \end{cases}, E_y = \begin{cases} \frac{\rho r_s^2 y}{2\epsilon_0 r^2}, & r > r_s \\ \frac{\rho y}{2\epsilon_0}, & r < r_s \end{cases} \quad (3)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

Система уравнений (1) решалась численно, методом Рунге-Кутты IV порядка точности в безразмерных единицах [4].

Рассмотрим вначале случай отсутствия полей пространственного заряда и поперечно неоднородного магнитного поля в соответствии с условием (2). Соответствующие типичные траектории приведены на рис. 2.

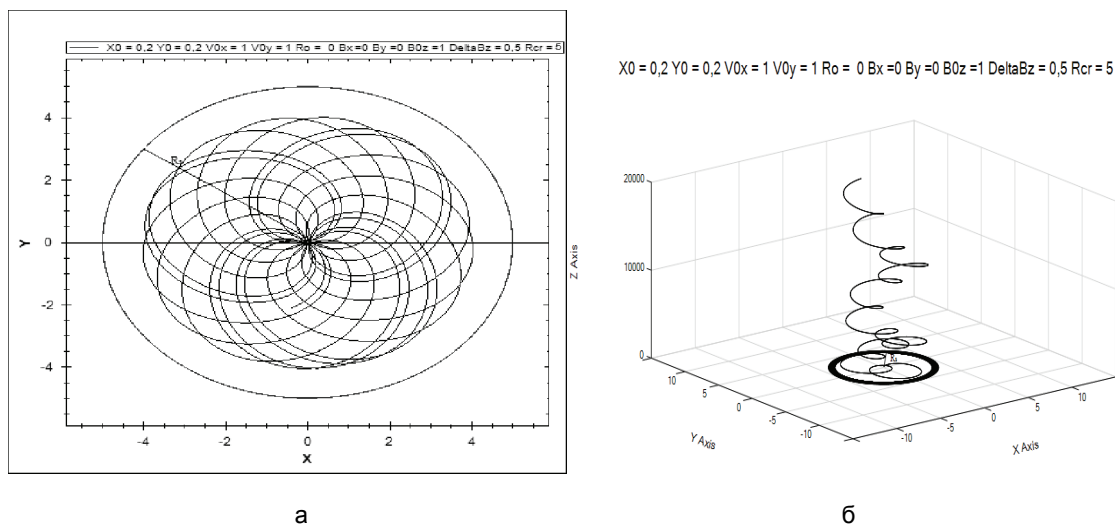


Рис. 2. Траектория заряда при  $\rho = 0$  и неоднородном магнитном поле  
 а – проекция плоскости X-Y, б – трёхмерная проекция

Видно, что даже при существенной неоднородности магнитного поля траектории сохраняют регулярный характер.

На рис. 3 приведены типичные траектории для случая однородного магнитного поля и  $\rho \neq 0$ .

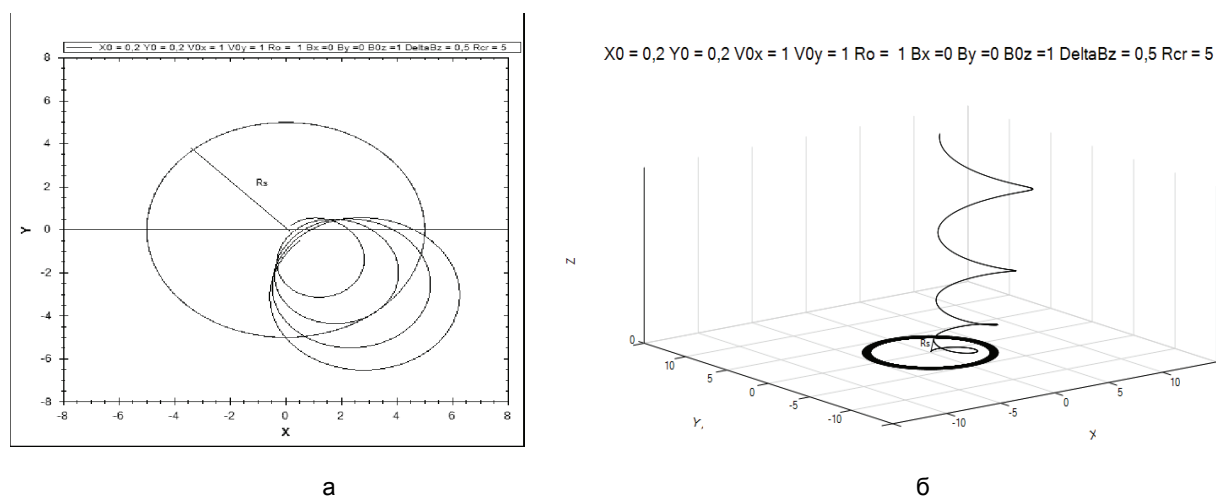


Рис. 3. Траектория заряда при  $\rho \neq 0$  и однородном магнитном поле,  
 а – проекция плоскости X-Y, б – трёхмерная проекция

Видно, что под действием радиальной составляющей пространственного заряда траектория выходит за пределы пучка и сохраняет регулярный вид.

Рассмотрим случай с неоднородным магнитным полем и  $\rho \neq 0$ . Характер траектории существенно изменяется при одновременном воздействии пространственного заряда пучка и неоднородного магнитного поля, что отражено на рис. 4.

На рис. 4 видно, что траектории имеют хаотический характер проявляющейся в хаотическом изменении как радиуса циклотронной орбиты, так и дрейфа центров орбит.

Хаотический характер траекторий подтверждается также видом спектра мощности, приведённым на рис. 5, и положительными значениями показателей Ляпунова.

Таким образом, проведённые расчёты показывают, что при раздельном воздействии полей пространственного заряда пучка и неоднородным в поперечном сечении магнитном поле траектории зарядов носят регулярный характер. Одновременное воздействие указанных полей приводят к хаотическим режимам, при этом увеличение постоянной составляющей магнитного поля уменьшает степень хаотичности.

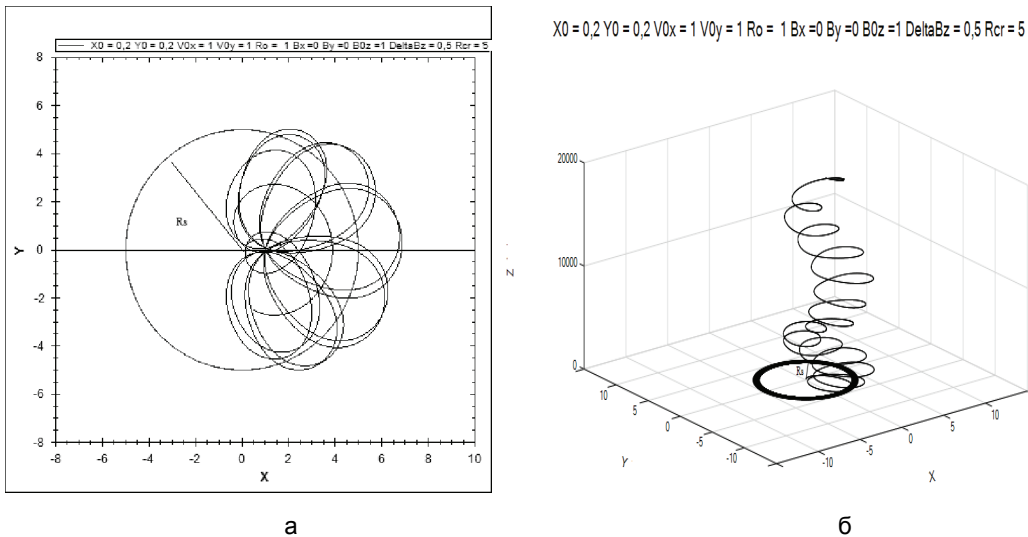


Рис. 4. Траектория заряда при  $\rho \neq 0$  и неоднородном магнитном поле  
 а – проекция плоскости X-Y, б – трёхмерная проекция

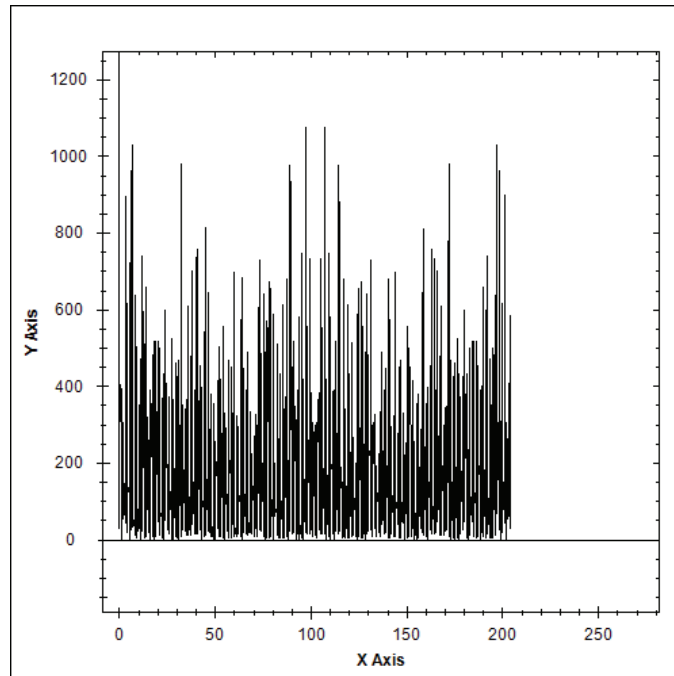


Рис. 5. Спектр мощности при  $\rho \neq 0$  и неоднородном магнитном поле

ЛИТЕРАТУРА

1. Арцимович Л.А. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях / Л.А. Арцимович, С.Ю. Лукьянов. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1972.
2. Р. Фейнман. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман. М.: Электродинамика, 1977. Т. 6.
3. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах / В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова, А.Б. Нейман, Г.И. Стрелкова, Л. Шиманский-Гайер. Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2003.
4. Турчак Л.И. Основы численных методов / Л.И. Турчак, П.В. Плотников. М.: Физматлит, 2003.

**Розов Александр Станиславович** – аспирант кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Alexander S. Rozov** – Postgraduate Department of Information Security of Automated Systems Gagarin Saratov State Technical University

**Байбурин Вил Бариевич** –  
доктор физико-математических наук,  
профессор, заведующий кафедрой  
«Информационная безопасность  
автоматизированных систем» Саратовского  
государственного технического университета  
имени Гагарина Ю.А.

**Vil B. Baiburin** –  
Dr. Sc., Professor  
Head of the Department Information Security  
of Automated Systems  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 27.05.12, принята к опубликованию 06.11.13*

УДК 517.9

**Н.В. Станкевич, А.А. Дворак, В.В. Астахов**

### **КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ПЕРЕХОД К ГИПЕРХАОСУ В ДВУХ ПРОТИВОФАЗНО ВОЗБУЖДАЕМЫХ ОСЦИЛЛЯТОРАХ ТОДЫ**

*Для системы двух связанных противофазно возбуждаемых осцилляторов Тоды исследованы условия возбуждения квазипериодических колебаний, бифуркационные структуры языков синхронизации в области квазипериодических движений. Изучены переходы к хаосу и гиперхаосу через разрушение двумерного тора.*

Связанные осцилляторы, квазипериодические колебания, синхронизация, бифуркации, хаос, гиперхаос

**N.V. Stankevich, A.A. Dvorak, V.V. Astakhov**

### **QUASIPERIODIC OSCILLATIONS AND TRANSITIONS TO HYPERCHAOS IN TWO TODA OSCILLATORS WITH ANTIPIHASE HARMONIC FORCE**

*Research has been made into the occurrence conditions for the system of two coupled Toda oscillators with antiphase harmonic force, including the bifurcational structure of synchronization tongues in the area of quasiperiodic motions. The transitions to the chaos and hyperchaos through destruction of two-dimensional tor are studied.*

Coupled oscillators, quasiperiodic oscillations, synchronization, bifurcations, chaos, hyperchaos

**Введение.** Связанные осцилляторы играют важную роль в различных областях науки, таких как химия, биология, электроника, радиофизика и т.д. [1-4]. Одним из фундаментальных нелинейных явлений, возникающих при взаимодействии автоколебательных осцилляторов, является синхронизация. В этом случае на плоскости параметров «частотная расстройка осцилляторов – сила связи» возможны захват частот и квазипериодические колебания внутри и снаружи языка Арнольда соответственно. Однако можно отойти от классической постановки задачи о синхронизации двух автоколебательных систем и рассмотреть динамику взаимодействующих нелинейных диссипативных осцилляторов с внешним воздействием, у которых в автономном состоянии не возникает устойчивого предельного цикла. На первый взгляд, такие взаимодействующие неавтономные осцилляторы не подходят для изучения явления взаимной синхронизации, при которой происходит подстройка собственных частот, поскольку временные масштабы вынужденных колебаний одиночного осциллятора жестко связаны с периодом внешнего воздействия. Однако в ряде работ [4-9] было выявлено, что в ансамблях таких осцилляторов возможны возбуждение квазипериодических колебаний, возникновение синхронизации движений на торе с характерными языками Арнольда в пространстве управляющих параметров, причем данное явление было обнаружено для различных связанных подсистем: в двух диссипативно связанных нелинейных контурах (RL-диод цепь) [4], в цепочках осцилляторов Тоды [5-7], в связанных осцилляторах Дуффинга [8]. Здесь же следует отметить и более нетривиальную ситуацию, когда внешнее импульсное воздействие индуцирует квазипериодические колебания в системе двух



диссипативно связанных осцилляторов ван дер Поля в режиме гашения колебаний (в таком режиме система демонстрирует затухающие колебания к устойчивой неподвижной точке) [9].

Для взаимодействующих нелинейных систем еще одним типичным феноменом является переход к режиму гиперхаоса. Применительно к рассматриваемому классу осцилляторов возможность возникновения гиперхаоса была выявлена в [10] для ансамбля связанных неавтономных осцилляторов Дуффинга.

В данной работе впервые для системы двух связанных противофазно возбуждаемых осцилляторов Тоды исследованы условия возбуждения квазипериодических колебаний, бифуркационные структуры языков синхронизации в области квазипериодических движений. Проведен анализ полного спектра показателей Ляпунова, изучены переходы к хаосу и гиперхаосу. Показано, что разрушение тора через бифуркации Неймарка-Саккера резонансных циклов на торе приводит к возникновению гиперхаоса.

**Исследуемая система, общая картина динамических режимов.** Систему связанных осцилляторов Тоды с внешним противофазным гармоническим воздействием запишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + \alpha \dot{x} + \exp(x) - 1 &= f \sin(\omega t) + \gamma(\dot{y} - \dot{x}), \\ \ddot{y} + \alpha \dot{y} + \exp(y) - 1 &= -f \sin(\omega t) + \gamma(\dot{x} - \dot{y}), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x, y, \dot{x}, \dot{y}$  – динамические переменные осцилляторов,  $\alpha$  – коэффициент диссипации в каждом осцилляторе,  $\gamma$  – параметр связи,  $f$  и  $\omega$  – амплитуда и частота внешнего воздействия. Во всех экспериментах параметр диссипации и частоту воздействия зафиксируем следующим образом:  $\alpha = 0.1, \omega = 1$ .

Для системы (1) был проведен анализ показателей Ляпунова и численный бифуркационный анализ. На рис. 1а представлена карта показателей Ляпунова на плоскости параметров амплитуда внешнего воздействия  $f$  – коэффициент связи  $\gamma$ . Данная карта была построена следующим образом: в каждой точке плоскости параметров с помощью алгоритма Бенеттина [11] рассчитывался полный спектр показателей Ляпунова, и в зависимости от значений показателей точка на плоскости параметров окрашивалась в тот или иной цвет (палитра соответствующих цветов представлена на рис. 1). Система (1) имеет пятимерное фазовое пространство, таким образом, она характеризуется пятью показателями Ляпунова; в зависимости от их значений в системе возможны следующие режимы:

- 1) периодические режимы,  $\Lambda_1 = 0, \Lambda_2, \Lambda_3, \Lambda_4, \Lambda_5 < 0$  ( $P$ );
- 2) квазипериодические режимы,  $\Lambda_1, \Lambda_2 = 0, \Lambda_3, \Lambda_4, \Lambda_5 < 0$  ( $QP$ );
- 3) режим хаоса,  $\Lambda_1 > 0, \Lambda_2 = 0, \Lambda_3, \Lambda_4, \Lambda_5 < 0$  ( $C$ );
- 4) режим гиперхаоса,  $\Lambda_1, \Lambda_2 > 0, \Lambda_3 = 0, \Lambda_4, \Lambda_5 < 0$  ( $HC$ ).

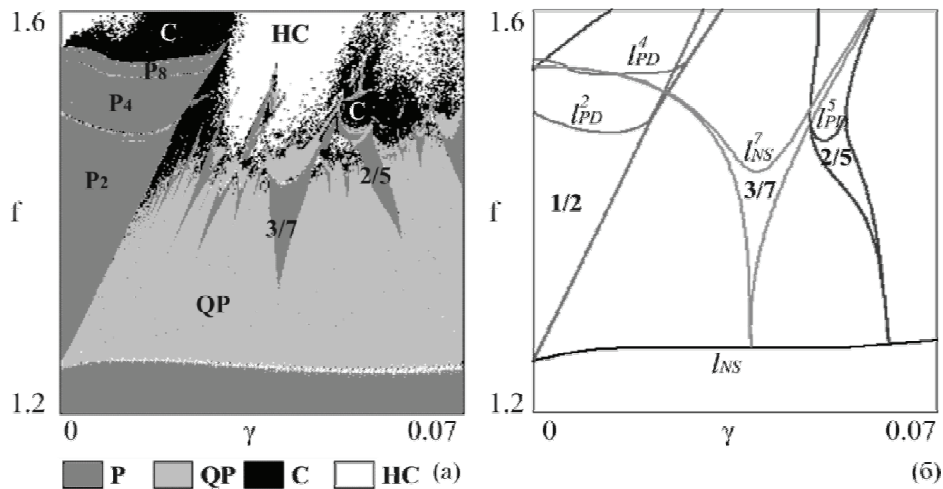


Рис. 1. (а) Карта показателей Ляпунова для системы (1) при  $\alpha = 0.1, \omega = 1$ ,  $P$  – периодические колебания,  $QP$  – квазипериодические колебания,  $C$  – хаос,  $HC$  – гиперхаос; (б) линии бифуркаций для системы (1)

при  $\alpha = 0.1, \omega = 1$ .  $l_{NS}$  – линия рождения тора,  $l_{PD}^2$  и  $l_{PD}^5$  – линии бифуркаций удвоения периода

для резонансных циклов 1:2 и 2:5,  $l_{NS}^7$  – линия вторичной бифуркации Неймарка-Саккера в языке синхронизации 3:7

На рис. 1б представлена аналогичная плоскость параметров, на которой обозначены некоторые характерные линии бифуркаций, полученные с помощью пакета для численного бифуркационного анализа XPPAUT.

Как видно из рисунков, при малых амплитудах воздействия в системе наблюдается автоколебательный режим периода-1. С увеличением амплитуды внешнего воздействия при связи, стремящейся к нулю, наблюдается переход к хаосу через каскад бифуркаций удвоения периода, на рис. 1а подписаны области режимов периода 2, 4, 8 (P2, P4, P8). На бифуркационной диаграмме отмечены соответствующие линии бифуркации удвоения периода  $l_{PD}^2$  и  $l_{PD}^4$ . Данная картина ожидаема для системы (1), одиночный осциллятор Тоды с внешним воздействием демонстрирует переход к хаосу через каскад бифуркаций удвоения периода, соответственно при малой связи проявляется динамика отдельного осциллятора. При увеличении связи в системе возникает возможность реализации квазипериодических режимов. На рис. 1б построена линия рождения тора  $l_{NS}$  (бифуркация Неймарка-Саккера) и опирающиеся на нее линии седло-узловых бифуркаций для двух наиболее выраженных языков синхронизации. Вблизи линии рождения тора картина синхронизации является типичной для систем с квазипериодической динамикой, число вращения будет пробегать множество рациональных значений, отвечающих резонансам на торе. С увеличением амплитуды воздействия в системе возникают хаотические колебания, причем для данной системы наблюдаются два сценария перехода к хаосу, которые рассмотрим более подробно.

**Переход к хаосу и гиперхаосу.** Как видно на карте показателей Ляпунова (рис. 1а), в системе (1) возможны хаотические колебания двух типов: с одним положительным показателем Ляпунова (черный цвет на карте) и двумя положительными показателями Ляпунова, так называемый гиперхаос (белый цвет). Это связано с тем, что каждая из связанных подсистем может демонстрировать собственную хаотическую динамику, соответственно в спектре каждого осциллятора может быть по одной положительной экспоненте. Именно этим объясняется возникновение гиперхаоса в случае отсутствия связи в системе после каскада удвоений периода.

На карте видно, что области хаоса и гиперхаоса локализованы в окрестности языков синхронизации. Так, например, при движении по плоскости параметров в сторону увеличения амплитуды внешнего воздействия внутри языков синхронизации с числом вращения  $1/2$  и  $2/5$  в системе наблюдается переход к хаотическому режиму с одним положительным показателем Ляпунова, в то время как если передвигаться внутри языка  $3/7$ , мы переходим в область гиперхаоса.

С целью детального исследования особенностей формирования хаотических аттракторов двух типов на рис. 2 представлены графики зависимостей трех старших показателей Ляпунова от амплитуды внешнего сигнала для языков  $2/5$  (рис. 2а) и  $3/7$  (рис. 2б). Итак, рис. 2а соответствует переходу к хаосу по сценарию Фейгенбаума [12]: через каскад бифуркаций удвоения периода. На рисунке хорошо видно, что цикл периода 5 (P5), являющийся результатом синхронизации на торе, претерпевает каскад бифуркаций удвоения периода. Аналогичный сценарий наблюдается для языка  $1/2$  при ненулевой связи.

На рис. 2б также представлена зависимость трех старших показателей Ляпунова от амплитуды внешнего сигнала внутри языка  $3/7$ . Для данного языка сценарий формирования хаотического аттрактора другой. На рис. 2в-е приведены стробоскопические сечения Пуанкаре характерных режимов. Как видно из рисунка, из цикла периода 7 (P7, рис. 2в), лежащего на торе, в результате вторичной бифуркации Неймарка-Саккера (на рис. 1б отмечена эта линия бифуркации  $l_{NS}^7$ ) в окрестности каждой неподвижной точки в сечении рождается инвариантная кривая (QP\_P7, рис. 2г). При этом изображающая точка попеременно посещает каждую инвариантную кривую в соответствии с тем же правилом, которое реализовывалось для обхода неподвижных точек цикла-7 в стробоскопическом сечении. Затем происходит синхронизация на торе, причем на каждой инвариантной кривой возникает резонансный цикл периода 7. С дальнейшим увеличением амплитуды воздействия происходит переход к гиперхаосу через потерю гладкости инвариантной кривой. На рис. 2е представлен пример фазового портрета в стробоскопическом сечении, соответствующий аттрактору с двумя положительными показателями Ляпунова.

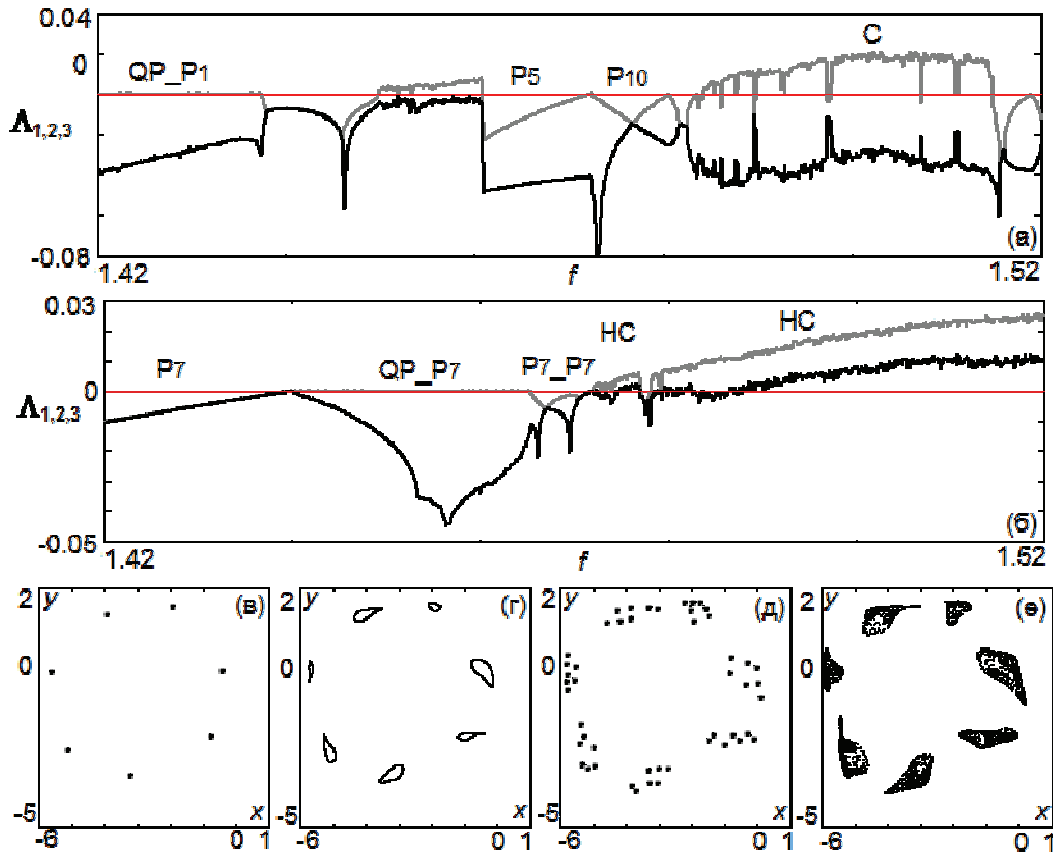


Рис. 2. Зависимость трех старших показателей Ляпунова для (1) от амплитуды внешнего сигнала при  $\alpha = 0.1$ ,  $\omega = 1$ , (а):  $\gamma = 0.0518$ , (б):  $\gamma = 0.04$ ; и характерные фазовые портреты в стробоскопическом сечении при  $\alpha = 0.1$ ,  $\omega = 1$ ,  $\gamma = 0.04$ , (в):  $f = 1.437$ , (г):  $f = 1.45$ , (д):  $f = 1.467$ , (е):  $f = 1.477$

### Заключение

Таким образом, в работе исследована динамика связанных противофазно возбуждаемых осцилляторов Тоды. В данной системе в численном эксперименте обнаружена возможность реализации квазипериодических колебаний. Выявлены два характерных сценария формирования хаотической динамики в системе: 1) сценарий Фейгенбаума – переход к хаосу через последовательность бифуркаций удвоения периода; 2) переход к гиперхаосу после вторичной бифуркации Неймарка-Саккера через разрушение инвариантной кривой.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Н.В.С., А.А.Д. – грант № 12-02- 31465, В.В.А. – грант № 12-02-01298-а).*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пиковский А. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление / А. Пиковский, М. Розенблюм, Ю. Куртс. М.: Техносфера, 2003. 508 с.
2. Глас Л. От часов к хаосу. Ритмы жизни / Л. Глас, М. Меки. М.: Мир, 1991. 248 с.
3. Mosekilde E. Chaotic synchronization: applications to living systems / E. Mosekilde, Yu. Maistrenko, D. Postnov. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2002. 492 p.
4. Особенности возникновения квазипериодических движений в системе диссипативно связанных нелинейных осцилляторов под внешним периодическим воздействием / В.В. Астахов, Б.П. Безручко, С.П. Кузнецов, Е.П. Селезнев // Письма в ЖТФ. Т. 14. 1988. Вып. 1. С. 37-41.
5. Geist K. The Nonlinear Dynamics of the Damped and Driven Toda Chain : I. Energy bifurcation diagrams / K. Geist, W. Lauterborn // Physica D 31. 1988. P. 103-116.
6. Geist K. The Nonlinear Dynamics of the damped and driven Toda chain: II. Fourier and Lyapunov analysis of tori/ K. Geist, W. Lauterborn // Physica D 41. 1990. P. 1-25.

7. Geist K. The Nonlinear Dynamics of the Damped and Driven Toda Chain : III. Classification of the nonlinear resonances and local bifurcations/ K. Geist, W. Lauterborn // Physica D 52. 1991. P. 551-559.
8. Kozlowski J. Bifurcation analysis of two coupled periodically driven Duffing oscillators / J. Kozlowski, U. Parlitz, W. Lauterborn // Phys. Rev. E. 51. 1995. P. 1861.
9. Kuznetsov A. Nonautonomous dynamics of coupled van der Pol oscillators in the regime of amplitude death/ A. Kuznetsov, E. Seleznev, N. Stankevich // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. Vol. 17. 2012. № 9. P. 3740-3746.
10. Perlikowski P. Routes to complex dynamics in a ring of unidirectionally coupled systems / P. Perlikowski, S. Yanchuk, M. Wolfrum, A. Stefanski, P. Mosiolek, T. Kapitaniak // CHAOS. Vol. 20. 2010. P. 03111.
11. Benettin G. Lyapunov exponents for smooth dynamical systems and Hamiltonian systems; a method for computing all of them, Part I: Theory / G. Benettin, L. Galgani, A. Giorgilli, J.-M. Strelcyn // Meccanica. Vol. 15. 1980. P. 9.
12. Бифуркации отображений / А.П. Кузнецов, А.В. Савин, Ю.В. Седова, Л.В. Тюрюкина. Саратов: ООО Изд. центр «Наука», 2012. 196 с.

**Станкевич Наталия Владимировна** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Радиотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Natalia V. Stankevich** – Ph. D., Associate Professor  
Department of Radio Engineering  
Gagarin Saratov State Technical University

**Дворак Антон Александрович** – аспирант кафедры «Радиотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Anton A. Dvorak** – Postgraduate  
Department of Radio Engineering  
Gagarin Saratov State Technical University

**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

*Статья поступила в редакцию 12.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 621.382

**В.А. Царев, А.Ю. Мирошниченко, И.О. Чигуров**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЛУЧЕВОГО КЛИСТРОНА С ДВУХМОДОВЫМ ПРОМЕЖУТОЧНЫМ РЕЗОНАТОРОМ<sup>1</sup>**

*Рассмотрен многолучевой клистрон, в резонаторную систему которого включен ступенчато-неоднородный однозачерный резонатор, возбуждаемый одновременно на двух модах колебаний, на основной частоте 2450 МГц и кратной частоте 4900 МГц. Это позволяет уменьшить габариты прибора и обеспечить оптимальные условия взаимодействия пучка с СВЧ полем. Приводятся результаты теоретических исследований клистрона с однозачерным резонатором с использованием программы 3-D моделирования REZON, демонстрирующие возрастание электронного КПД клистрона до 72%.*

Клистрон, КПД, резонатор, двухмодовый режим работы, многолучевой электронный поток

<sup>1</sup> Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.В37.21.0909 «Исследование физических процессов в мощных многолучевых СВЧ электровакуумных приборах с электродинамическими системами, выполненными на основе многомодовых резонаторов»

V.A. Tsarev, A.Yu. Miroshnichenko, I.O. Chigurov

## INVESTIGATION OF THE MULTI-BEAM KLYSTRON WITH A TWO-MODE PENULTIMATE FLOATING RESONATOR

*A klystron design is considered with a two-mode penultimate floating resonator which provides interaction with electron beam by fields of two frequencies of one-gap resonator fundamental oscillations for increasing the klystron efficiency. One-gap resonator is tuned at operating frequency  $f$  and the doubled frequency  $2f$ . Such choice of frequency oscillation types allows compacting the resonator and providing optimal conditions for electron beam interaction with microwave fields. Theoretical investigation using 3-D REZON code of klystron with a one-gap resonator demonstrated a significant increase of the klystron efficiency.*

Klystron, efficiency, resonator, two-mode regime interaction, multiple electron beam

В последние годы во всем мире проявляется значительный интерес к разработке мощных многолучевых клистронов (МЛК) [1].

Они находят применение в телевидении, связи и радиолокации, медицинской технике, а также в устройствах бытового и промышленного нагрева и в ускорительной технике. Интерес к этим приборам вызван тем, что они могут обеспечить дальнейшее повышение КПД мощных СВЧ усилителей (до 70-80%), увеличение выходной мощности и расширение полосы усиления при пониженных по сравнению с однолучевыми конструкциями (ОЛК) напряжениях.

Для повышения электронного КПД в ОЛК и МЛК применяют режим несинусоидальной скоростной модуляции, реализуемый за счет введения в состав резонаторной системы дополнительных резонаторов, настроенных на частоты, соответствующие второй гармонике конвекционного пучка [2].

Так как смежные резонаторы первой и второй гармоник в группирователе пространственно разнесены, для получения оптимальных амплитудных и фазовых характеристик, соответствующих наилучшему приближению к пилообразной форме модулирующего напряжения, требуется большая расстройка резонаторов второй гармоники по частоте, что уменьшает максимальную амплитуду несинусоидального модулирующего сигнала.

Кроме того, введение одного или двух резонаторов второй гармоники приводит к увеличению габаритов и массы прибора. Устранить этот недостаток в МЛК можно, так же как и в ОЛК [3], путем использования вместо двух входных резонаторов одного, настроенного на кратные частоты, соответствующие основному.

Недостаточная изученность физических процессов, протекающих при многомодовом взаимодействии многолучевого электронного потока с СВЧ полем резонаторов, затрудняет создание МЛК с повышенным комплексом электрических и массогабаритных параметров.

Целью настоящей работы является определение оптимальных параметров режима несинусоидальной скоростной модуляции в МЛК с однозакорными двухмодовыми резонаторами, направленное на повышение электронного КПД и выходной мощности этих приборов.

Объектом исследования являлся пятирезонаторный МЛК, в резонаторную систему которого включен ступенчато-неоднородный однозакорный резонатор, возбуждаемый одновременно на двух модах колебаний ( $i=1,2$ ), соответствующих основному ( $E_{010}$ ) и высшему ( $E_{020}$ ) видам колебаний с кратными рабочими частотами (2450 и 4900 МГц). Схематическое изображение этого резонатора показано на рис. 1.

На рис. 1а и в изображен характер распределения ВЧ электрического поля в этом резонаторе на  $E_{010}$  и  $E_{020}$  видах колебаний.

Расчет электронных и электродинамических параметров резонатора для двухмодового режима (коэффициента эффективности взаимодействия  $M_1$ , характеристического сопротивления, нормированных значений активной электронной проводимости  $G_{ei}/G_0$  проводился по трехмерной программе моделирования СВЧ-приборов клистронного типа «REZON» [4].

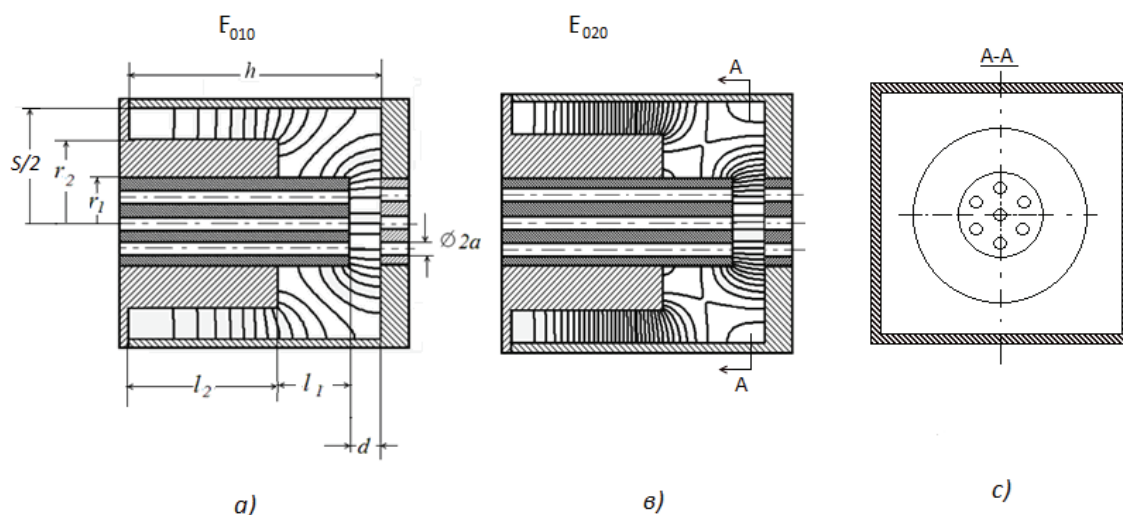


Рис. 1. Схематическое изображение конструкции исследуемого резонатора с семью пролетными каналами в общей пролетной трубе

Результаты расчета электронных параметров приведены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что удовлетворительная эффективность взаимодействия на второй гармонике  $M_2$  достигается при выборе ускоряющего напряжения  $U_0$  и угла пролета по радиусу  $\gamma_2 a$  на втором виде колебаний из следующих условий:

$$\gamma_2 a \leq 0.8, \quad U_0 \geq 10 \text{ кВ} \quad (1)$$

Размеры пролетной трубы выбирались из условия плотной «упаковки» пролетных каналов в общей пролетной трубе

$$r_2 / \lambda_2 \cong (0.015 \gamma_2 a \sqrt{U_0} (1 + \frac{4(N-1)}{3}))^{1/2}, \quad (2)$$

где  $N$  – число пролетных каналов,  $\gamma_2 a$  – угол пролета по радиусу пролетного канала на удвоенной частоте сигнала,  $U_0$ , кВ.

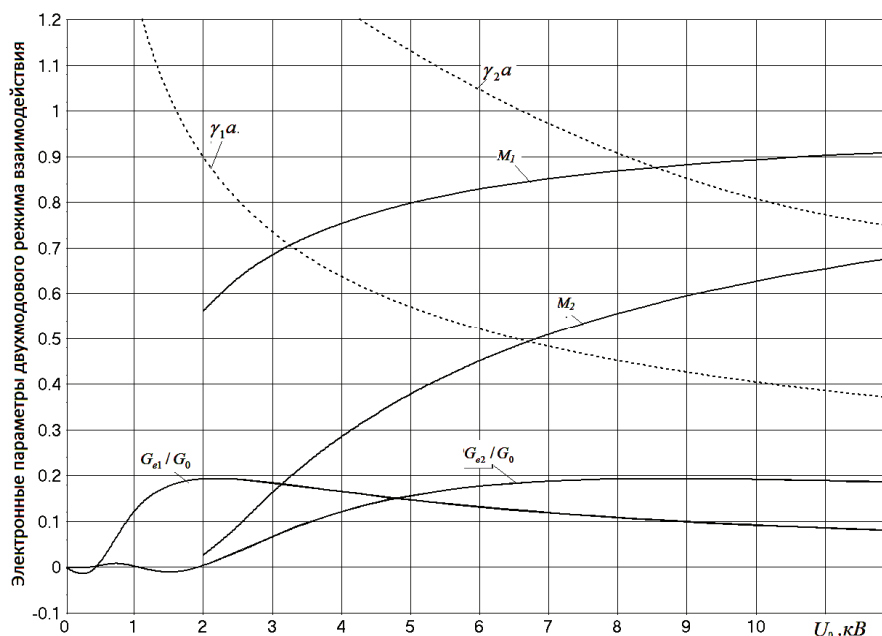


Рис. 2. Зависимость электронных параметров от величины ускоряющего напряжения для двух видов колебаний

Подстановка в выражение (2) выбранных значений  $\gamma_2 a = 0.8$ ;  $U_0 = 10$  кВ,  $\lambda_2 = 6.12$  см позволяет определить радиус  $r_2 = 6.96$  мм.

Геометрические размеры резонатора, полученные в результате синтеза на две кратные частоты 2450 и 4900 МГц, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические размеры резонатора

Обозначения	$r_1$	$r_2$	S/2	$l_1$	$l_2$	d	h	a
Размеры, мм	6.96	13.81	17.99	8.7	19.2	5.3	33.2	1.54

Результаты расчетов электронных параметров для исследуемой конструкции резонатора для ускоряющего напряжения  $U_0=10$  кВ, при микропервесе одного луча  $\rho_{\mu 1}=0.3$  мкА/В<sup>3/2</sup> и коэффициенте заполнения пролетного канала, равном  $b/a=0.7$ , приведены в табл. 2.

Таблица 2

Электронные и электродинамические параметры резонатора

Параметры	F, МГц	$\rho$ , Ом	M	$G_e/G_0$	$Q_0$	$\gamma a$
Вид 1( $E_{010}$ )	2452	51.2	0.8	0.192	3811	0.4
Вид 2( $E_{020}$ )	4904	31.9	0.625	0.09	6220	0.8

На рис. 3, 4 показаны результаты расчета и оптимизации параметров МЛК, полученные с помощью программы Diskly, основанной на дисковой модели клистрона [5].

Результаты расчета, приведенные на рис. 3, показывают, что максимальный электронный КПД, который можно получить в 5-резонаторном семилучевом МЛК с одномодовыми резонаторами, при оптимальной расстройке их резонансных частот, не превышает 57%.

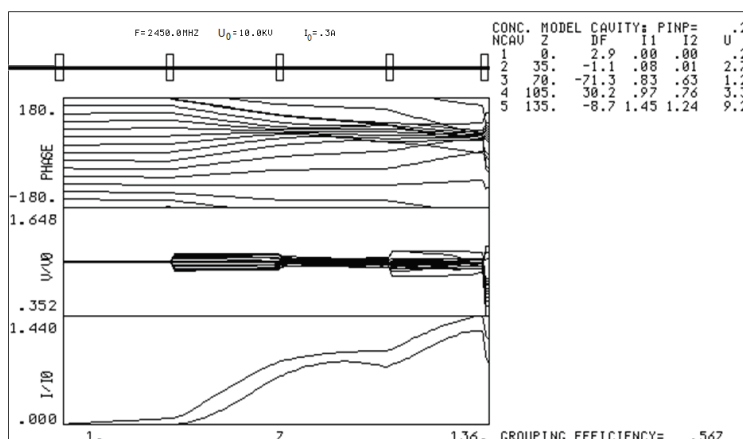


Рис. 3. Характер изменения фазовых траекторий, относительной амплитуды ВЧ-напряжения на зазорах резонаторов и нормированной амплитуды первой и второй гармоник конвекционного тока вдоль пространства взаимодействия в одномодовом режиме

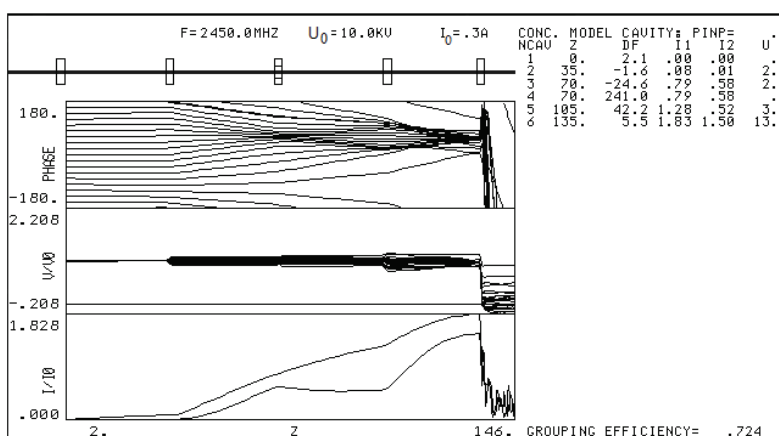


Рис. 4. Характер изменения фазовых траекторий, относительной амплитуды ВЧ-напряжения на зазорах резонаторов и нормированной амплитуды первой и второй гармоник конвекционного тока вдоль пространства взаимодействия в двухмодовом режиме работы третьего резонатора

Замена третьего резонатора на двухмодовый приводит, как показано на рис. 4, к увеличению примерно в 1,3 раза амплитуды первой гармоники конвекционного тока. При этом электронный КПД увеличивается до 72%.

Нетрудно получить оценки ожидаемой выходной мощности исследованных приборов по известной формуле

$$P_{\text{вых}} = \eta_e \cdot \eta_k \cdot p_{\text{пл}} \cdot (10^{-6}) \cdot N \cdot U_0^{5/2}, \quad (3)$$

где  $\eta_e$  – электронный КПД,  $\eta_k$  – контурный КПД.

В первом случае, согласно расчету по формуле (3), выходная мощность составляет примерно 11 кВт, во втором – она возрастает до 14 кВт.

### Заключение

1. Разработанные принципы конструирования МЛК с многомодовыми резонаторами могут быть положены в основу клистронных усилителей и генераторов различного назначения, используемых в СВЧ энергетике, системах связи и телевидении.

2. Заменяя в приборе все двухзачерные резонаторы на двухчастотные (при соответствующей их настройке), можно добиться того, что клистрон будет иметь две рабочие полосы усиления, разнесенные одна от другой примерно на октаву.

3. Возможно также применение нескольких полигармонических резонаторов, связанных между собой и образующих фильтровую систему на основной и удвоенной частоте сигнала [6].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пугнин В.И. Проблемы создания мощных широкополосных многолучевых клистронов / В.И. Пугнин, А.Н. Юнаков // Радиотехника. 2004. №2. С. 17-21.
2. Исследование широкополосных многолучевых клистронов / И.Г. Артюх и др. // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1979. №11. С. 3-13.
3. А.с. № 930428. СССР. МКИ<sup>5</sup> H01J23/18. Резонатор для несинусоидального периодического сигнала / С.Н. Голубев, В.А. Царев. Заявитель: Саратовский политехнический институт. Заявка № 2912742 от 23.04.1980. Оpubл. 23. 05.1982. Бюл. № 19.
4. Мучкаев В.Ю. REZON / В.Ю. Мучкаев, В.А. Царев // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2011611748 от 24.02.2011 г.
5. Teryaev V.E. DISKLY code for calculation and optimization of klystrons. Proc. Int. Workshop on Pulsed RF Power Sources for Linear Colliders (RF-93). 1993. P. 161-166.
6. Пат. № 1776156. РФ. МПК<sup>6</sup> H01J25/12. СВЧ-прибор / Д.М. Петров, В.А. Царев. Патентообладатель: Саратовский государственный технический университет (политехнический институт). Заявка № 4861322/21 от 20.07.1990. Оpubл. 09.01.1995.

**Царев Владислав Алексеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные приборы и устройства» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Vladislav A. Tsarev** – Dr. Sc., Professor  
Department of Electronic Instruments and Devices  
Gagarin Saratov State Technical University

**Мирошниченко Алексей Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные приборы и устройства» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Alexey Yu. Miroshnichenko** – Ph. D., Associate Professor  
Department of Electronic Instruments and Devices  
Gagarin Saratov State Technical University

**Чигуров Илья Олегович** – студент кафедры «Электронные приборы и устройства» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Piya O. Chigurov** – Undergraduate  
Department of Electronic Instruments and Devices  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 12.07.12, принята к опубликованию 06.11.12*



## ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.9: 549.5: 66.011: 66.088: 66-971: 661.68

**А.М. Бессарабов, М.Я. Иванов, А.В. Квасюк**

### **CALS-ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОСОБО ЧИСТЫХ НАНОПОРОШКОВ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ С КРИОГЕННОЙ ЗАКАЛКОЙ**

*На основе концепции CALS разработана технология получения особо чистых нанопорошков криогенно-плазмохимическим методом. Создан теоретический CALS-проект в трех взаимосвязанных информационных сечениях: нанотехнология, плазмохимия и технология особо чистых веществ. Проанализированы факторы, влияющие на чистоту целевого продукта. Проведено исследование влияния скорости криогенной закалки на дисперсность нанопорошков.*

CALS-технология, особо чистые материалы, нанопорошки, криогенная плазмохимия

**A.M. Bessarabov, M.Ya. Ivanov, A.V. Kvasyuk**

### **CALS-TECHNOLOGY FOR OBTAINING HIGH PURITY NANOPOWDERS IN LOW-TEMPERATURE PLASM WITH CRYOGENIC HARDENING**

*The technology for obtaining high purity nanopowders by the cryogenic-plasmachemical method was developed based on the CALS concept. Additionally the theoretical CALS-project in three interconnected directions was created: nanotechnology, plasmachemistry and technology of high purity substances. The factors influencing the purity of final product were analyzed. The influence of cryogenic hardening speed for dispersity of nanopowders was researched.*

CALS-technology, high purity materials, nanopowders, cryogenic plasmachemistry

Особо чистые (ОСЧ) наноматериалы широко используются для решения важнейших фундаментальных и прикладных задач в наиболее наукоемких и инновационных областях российской экономики. Для синтеза этих материалов перспективно применение низкотемпературной плазмы, позволяющей получать нанопорошки и обеспечивающей минимальный аппаратный фон по микропримесям [1].

Эффективная разработка плазмохимических процессов требует использования самых современных информационных технологий. Наиболее перспективной системой компьютерной поддержки является CALS-технология (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукта). В основе концепции CALS лежат комплекс единых информационных моделей, стандартизация способов доступа к информации и ее корректной интерпретации. Ситуация на мировом рынке наукоемкой продукции развивается в сторону полного перехода на компьютерную технологию проектирования, изготовления и сбыта продукции. Отечественная наукоемкая продукция, не имеющая современного компьютерного обеспечения ее жизненного цикла (CALS-технология), будет существенно отставать от аналогичной продукции, изготовленной за рубежом в системе новых электронных технологий [2].

Для систематизации и компьютеризации литературных и Интернет-ресурсов по направлению «Плазмохимический синтез ОСЧ наноматериалов» создан теоретический CALS-проект в трех взаимосвязанных информационных сечениях (рис. 1): «наноматериалы» (нанотехнология); «плазмохимия»; «особо чистые материалы» (технология особо чистых веществ).

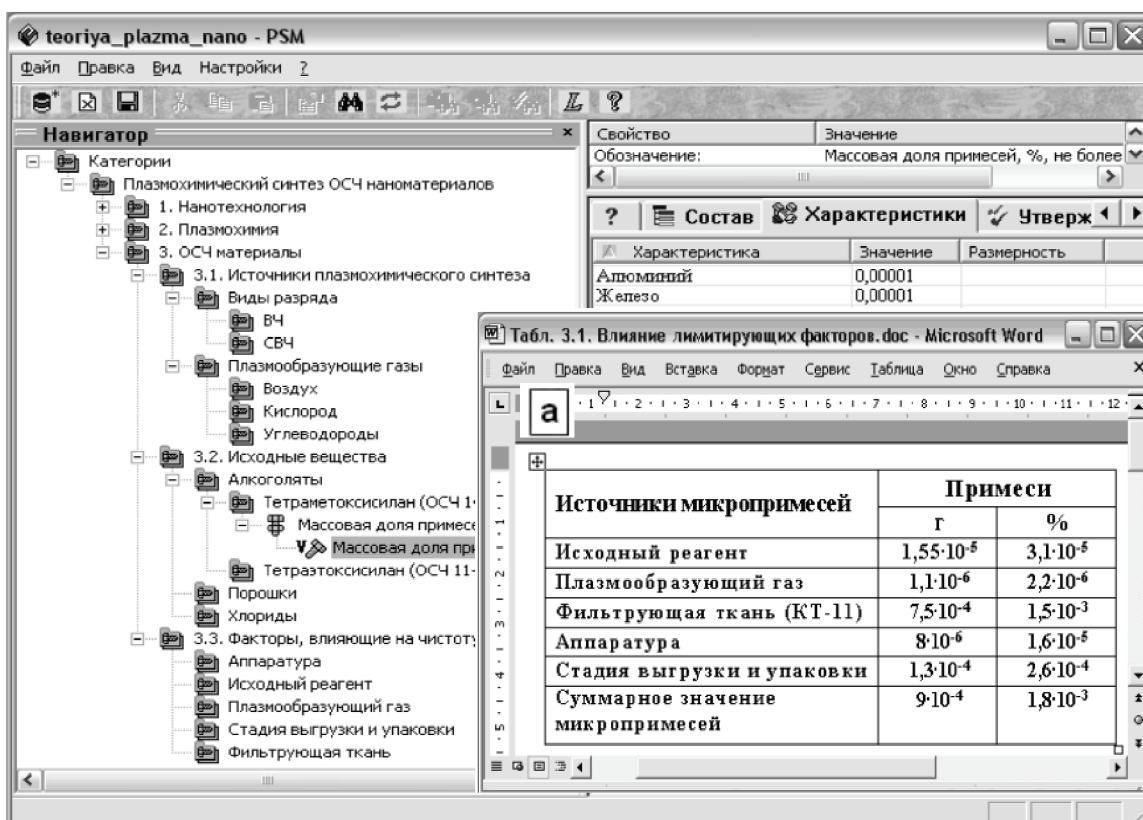


Рис. 1. Элемент CALS-проекта «Плазмохимический синтез ОСЧ наноматериалов» (а – факторы, влияющие на чистоту)

В первой категории CALS-проекта («наноматериалы») показано [3], что нанотехнологии качественно отличаются от традиционных процессов, поскольку на таких масштабах (менее 100 нанометров) привычные макроскопические технологии обращения с материей часто неприменимы, а микроскопические явления становятся намного значительнее. Вся общая теоретическая информация структурирована в первой подкатегории: «нанотехнологии в России». Во второй подкатегории (виды наноматериалов) рассмотрены три основных класса нанообъектов: трёхмерные частицы; двумерные объекты (плёнки) и одномерные объекты (висеры, нанотрубки). В третьей подкатегории приведены основные методы получения наноматериалов. Одним из перспективных методов получения трехмерных нанопорошков является плазмохимический синтез, рассматриваемый во второй категории CALS-проекта.

Во второй категории (плазмохимия) основной подкатегорией является «плазменный реактор». Приведены основные требования к реактору: получение достаточно полного смешения реагентов; обеспечение требуемой протяжённости зоны взаимодействия; создание условий эффективного тепло- и массообмена при минимальных тепловых потерях. Рассмотрен вариант совмещения реакционной зоны с объёмом разряда (реактор открытого типа). В проекте рассмотрены схемы плазмохимических агрегатов со струйным реактором прямоточного типа и со встречными струями. В подкатегории «плазмотроны» приведены схемы дуговых плазмотронов следующих видов: осевой; коаксиальный; с тороидальными электродами; двустороннего истечения; с внешней плазменной дугой; с расходными электродами.

В третьей категории (особо чистые материалы) рассмотрены основные виды исходных высокочистых веществ (алкоголяты, хлориды и порошки), применяемые для плазмохимического синтеза (рис. 1). При получении ОСЧ веществ очень важно, чтобы побочный продукт синтеза не загрязнял целевые продукты и не вступал во взаимодействие с технологической аппаратурой, принимая на себя дополнительное количество примесей. Для решения этой задачи также перспективно применение низкотемпературной плазмы. Плазмохимическая технология включает целый ряд узлов и технологических переделов. В подкатегорию CALS-проекта введены результаты исследований чистоты готового продукта от лимитирующих аппаратурно-технологических факторов: исходный реагент, плазмообразующий газ, аппаратура, стадия улавливания (фильтрующая ткань), стадия выгрузки и упаковки (рис. 1а). Анализ этих данных показывает, что основное загрязнение в готовый продукт вносится на стадиях улавливания, выгрузки и упаковки.

Криогенно-плазменная технология рассмотрена нами для получения нанодисперсных порошков кремния [4]. Эксперименты по получению нанодисперсного кремния проводились на плазменной индукционной установке мощностью в 20 кВт и частотой 4,75 МГц. Установка имела два индуктора, причем на первый подавалась мощность 5 кВт, на второй 15 кВт. В качестве плазмообразующего газа использовалась аргоно-водородная смесь с 15 % об. водорода. Расход плазмообразующего газа составлял  $1,5 \text{ нм}^3$  в час. При раздельном введении мощности коэффициент полезного действия составляет 75%. Плазмообразующий газ вводился в верхней части реактора через специальные щелевые отверстия.

Это позволяло плазмообразующему газу истекать вдоль стенки в ламинарном режиме и затем сформироваться в плазмод. Реагирующая смесь силан-аргон подавалась под срез верхнего индуктора через водоохлаждаемый зонд со скоростным напором 0,1 м/с. Диаметр разрядной камеры составлял 40 мм. Диаметр реактора составлял 400 мм. Было выдержано классическое соотношение 1/10. Подобный расход позволил на выходе из разрядной камеры обеспечить практически ламинарный режим течения с числом  $Re$  не более 20. Расход закалочного газа аргона по жидкой составляющей составлял: 0,1, 0,5 и 1 г/с. Измерение температуры проводилось при помощи калориметрического зонда.

Погрешность измерения составила 500 К. При максимальной мощности, вкладываемой в разряд, температура на срезе выхода из-под нижнего индуктора составила 8000 К. Измерения температуры и параметров течения проводились на реакторе, предназначенном для диагностических измерений. Данный реактор имел геометрию, аналогичную размерным факторам технологического реактора.

В каком бы виде исходное вещество не вводилось в плазменную струю (в виде газа, жидкости или в твердом виде), всегда в зоне ввода будут различия по температуре, плотности и скоростным флуктуациям. Следовательно, временные и энергетические соотношения будут сильно различаться для реагирующих гетерогенных систем, что, в свою очередь, сказывается на выборе конструктивных особенностей плазменного реактора и вида низкотемпературной плазмы [5].

Анализ структур полученных нами частиц нанодисперсного кремния проводился с использованием рентгенофазового метода. Анализ распределения частиц по размерам осуществлялся на дисковой центрифуге DCS 5000. Ошибка измерения данного прибора  $\pm 1$  нм. Все полученные образцы имели рентгеноаморфную структуру.

Поскольку полученный кремний планировался для использования при производстве солнечных батарей, был проведен химико-спектральный анализ образцов на содержание микропримесей. Полученные образцы относятся к классу ОСЧ веществ вследствие того, что содержание в них микропримесей тяжелых и щелочных металлов находится на уровне  $1 \cdot 10^{-5}$  % по сумме металлов: Fe, Ni, Co, Mn, Cr, V, Na, K, Ca, Mg, а также кислорода. Все эти элементы впоследствии оказывают влияние на эмиссионный ток в солнечных батареях.

При разработке плазменно-криогенной установки для получения нанопорошков в рамках CALS-проекта была создана типовая схема (протокол применения) – «Исходные данные на проектирование». В соответствии со стандартом по химической промышленности в структуру исходных данных входят 17 обязательных разделов. Все эти разделы занесены в CALS-систему. Одним из наиболее значимых направлений исследований являлось моделирование влияния различных факторов на дисперсность готового продукта (рис. 2).

Влияние на дисперсность рассматривалось для следующих 3 факторов: агрегатного состояния исходного вещества, соотношения компонентов ( $\beta$  – скоростных напоров плазменной струи и струи вводимого газа) и скорости криогенной закалки. На примере нанодисперсного  $\text{SiO}_2$  показано [4], что для получения требуемого грансостава при использовании газообразного исходного вещества (тетраэтоксисилан – ТЭОС) достаточно соотношения  $\beta = 1$ . При вводе через форсунку жидкофазного ТЭОС требуется соотношение  $\beta = 12$ . При вводе через питатель кварцевого порошка ( $d_0 = 10$  мкм) для получения нанодисперсного оксида кремния (10 нм) требуется очень высокое соотношение  $\beta = 50$ .

Нами были исследованы 3 режима закалки нанодисперсного Si с расходом продукта (смесь силана с аргоном), соответственно, 0,1, 0,5 и 1 г/с [6]. Показано (рис. 2а), что самая узкая фракция (1) получается посредством наибольшего активного затопления парогазовой плазменной струи потоком жидкого аргона (1 г/с). В результате все 3 режима, которые разнятся на порядок, дают разброс по максимальному размерному параметру не более 3 нм (от 2 до 5 нм). Это указывает на высокую эффективность криогенной закалки. Расчеты по скоростным потокам с использованием уравнений Навье-Стокса и фазам активного смешения (число  $Re$  до 500) позволили дать оценку скорости закалки ( $10^{-11}$  с). После смешения парогазовый поток превращается в изотропную нанодисперсную пылевую смесь, твердая составляющая (нанопорошок) которой отделялась на рукавных фильтрах. Там же проводилась пассивация порошка в атмосфере аргона.

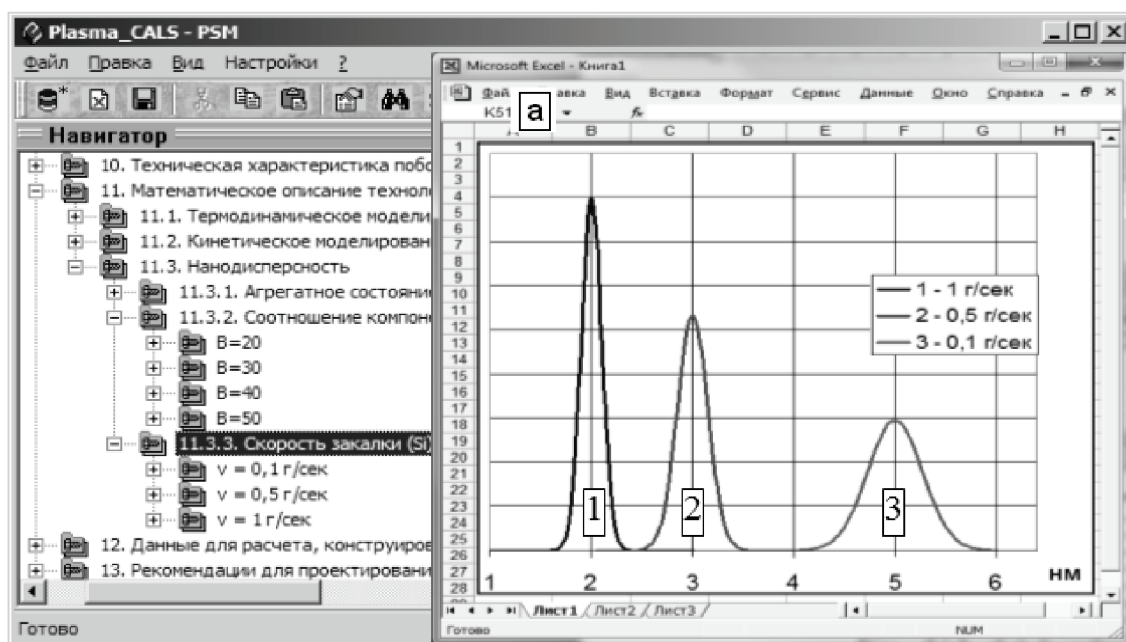


Рис. 2. Элемент CALS-проекта «Моделирование дисперсности нанопорошков»  
(а – влияние на дисперсность Si скорости закалки)

Преимущества криогенной закалки состоят в том, что она позволяет фиксировать любые термодинамические состояния вещества, относящиеся к уровню температур до 10000 К. Криогенная закалка дает возможность перевести кластеры уровня 4000-10000 К в конденсированное состояние, т.е. при обычных температурах мы имеем вещества со свойствами, присущими уровню плазменных состояний (твердые ионные состояния).

Применение концепции CALS в данной работе позволяет существенно сократить время научных исследований и повысить качество проводимых работ. Выбранная информационная технология позволяет создать не только эффективную систему проектирования и контроля качества продукции, соответствующую международным стандартам, но и успешно интегрироваться в систему управления производством.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fridman A. Plasma Chemistry / A. Fridman. London, England: Cambridge University Press, 2008. 1024 p.
2. Saaksvuori A. Product Lifecycle Management / A. Saaksvuori, A. Immonen. 3<sup>rd</sup> edition. New York, USA: LLC Springer-Verlag, 2010. 266 p.
3. Бессарабов А.М. Информационные CALS-технологии (ISO-10303 STEP) при разработке плазмохимических процессов получения ультрадисперсных оксидов особой чистоты / А.М. Бессарабов, А.Н. Пономаренко, М.Я. Иванов // Журнал прикладной химии. 2007. Т. 80, № 1. С. 15-19.
4. CALS-technology for synthesis of oxide nanomaterials in low-temperature plasm / A. Bessarabov, A. Kvasyuk, A. Kochetygov, M. Ivanov // Journal of Materials Science and Engineering: A. 2011. Vol. 1. № 3. P. 374-379.
5. Белогорохов А. Плазменные процессы при получении порошков нанокристаллического кремния различной формы / А. Белогорохов, Ю. Пархоменко, Л. Трусов // Наноиндустрия. 2009. № 1. С. 14-17.
6. Бессарабов А.М. CALS-технология плазменно-криогенного синтеза нанодисперсного кремния / А.М. Бессарабов, М.Я. Иванов, А.В. Квасюк // Российские нанотехнологии. 2012. Т. 7, № 1-2. С. 20-23.

**Бессарабов Аркадий Маркович** – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по науке Научного центра «Малотоннажная химия», г. Москва

**Иванов Марк Яковлевич** – доктор технических наук, главный научный сотрудник Научного центра «Малотоннажная химия», г. Москва

**Arkadiy M. Bessarabov** – Dr.Sc., Professor, Deputy Director for Science Research Centre «Low-tonnage Chemistry», Moscow

**Mark Ya. Ivanov** – Ph. D., Leading Researcher Research Centre «Low-tonnage Chemistry», Moscow

**Квасюк Алексей Владимирович** –  
кандидат экономических наук, ведущий  
научный сотрудник Научного центра  
«Малотоннажная химия», г. Москва

**Aleksey V. Kvasyuk** –  
Ph. D., Leading Researcher  
Research Centre «Low-tonnage Chemistry»,  
Moscow

*Статья поступила в редакцию 25.08.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 544.023; 621.8; 535.361

**А.В. Гороховский, О.А. Смирнова, А.С. Азаров, В.В. Сафонов, Е.В. Третьяченко,  
В.Г. Гоффман, А.А. Шиндров, Т.В. Колбасина**

## **ПОЛУЧЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО СЕРПЕНТИНА, ОПТИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЛЕОФИЛЬНЫХ ДИСПЕРСИЙ**

*Предложена методика получения синтетического серпентина, представляющего собой слоистый двойной гидроксид, аналогичный по структуре с природными минералами группы серпентинитов. В отличие от природных серпентинитов синтетический серпентин не содержит абразивных включений (кварцевый песок, пироксены, форстерит), осложняющих его использование в качестве высокоэффективной антифрикционной добавки к смазкам, предназначенным для использования в тяжело нагруженных узлах машин и механизмов. Исследование трибологических характеристик синтезированного серпентина показало перспективность его использования в промышленности смазочных материалов.*

Наночастицы, серпентин, синтез, морфология, оптические свойства, трибологические свойства

**A.V. Gorokhovskiy, O.A. Smirnova, A.S. Azarov, V.V. Safonov, E.V. Tretyachenko,  
V.G. Goffman, A.A. Shindrov, T.V. Kolbasina**

## **PREPARATION OF SYNTHETIC SERPENTINE, OPTICAL AND TRIBOLOGIC CHARACTERISTICS OF OLEOPHYLIC DISPERSIONS**

*The method of synthetic serpentine production has been developed. The obtained product is characterized by the layered double hydroxide structure similar to the natural minerals of the serpentinite group. In contrast to the mineral analogs, the synthetic serpentine does not contain abrasion inclusions (silica sand, forsterite, or pyroxenes) which traditionally present a complicating factor in their use as antifriction additives in the composition of lubricating materials for the machines and mechanisms working under conditions of high loading. The testing of tribologic parameters of the synthetic serpentine indicated its promising application in the composition of industrial greases.*

Nanoparticles, serpentine, synthesis, morphology, optical properties, tribologic properties

### **Введение**

В последние годы было проведено большое количество исследований, показавших, что добавки наноразмерных порошков целого ряда как традиционно используемых, так и специально разработанных материалов (нанографит, наноразмерные дисульфид и трисульфид молибдена; дисульфид вольфрама; диселениды молибдена, вольфрама и ниобия; нитрид бора; иодиды кадмия, свинца и висмута; закись меди; фторид кальция; а также ряд фторсодержащих полимеров, природных и синтетических серпентинитов); придают смазочным материалам высокие трибологические характеристики, превосходящие результаты, полученные с использованием традиционных антифрикционных добавок (дисульфида молибдена и графита микроразмерного фракционного состава) [1-5].

Полученные добавки стабильны в углеводородных средах; а проведенные испытания их трибологической активности показали их высокую эффективность. Однако несмотря на достигнутые результаты использование новых видов антифрикционных добавок к смазочным материалам происходит крайне медленно. Основной причиной этого является высокая стоимость, а также то, что их действие обычно направлено на улучшение одной конкретной трибологической характеристики смазочного материала и крайне редко встречаются добавки, позволяющие улучшить весь комплекс свойств, определяющих эффективность смазочной композиции, в составе которой добавка используется.

Одной из наиболее перспективных антифрикционных добавок являются порошки природного серпентинита [6].

При этом к серпентинитам относят горные породы, в составе которых на минералы группы серпентина (волоконистый хризотил-асбест и пластинчатые антигорит и лизардит, характеризующиеся формулой  $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$ ) приходится 70-80% состава породы. Количество разнообразных примесей в природных серпентинитах составляет не менее 5-15%. При этом состав и количество примесей изменяются не только в пределах одного месторождения, но и в пределах очень малых объемов горных пород. В результате природные серпентиниты даже при надлежащем измельчении и обогащении содержат абразивные примеси (кварцевый песок, магнетит, пегматит, нефелины, пироксены), присутствие которых крайне нежелательно в стандартных (не притирочных) смазках [7].

Попытки получения синтетических серпентинитов, свободных от содержания абразивных частиц, предпринимались как в России, так и за рубежом [8-10]. Здесь, однако, следует отметить, что серпентиниты как сырье для производства триботехнических составов относятся к группе промышленных нерудных полезных ископаемых, структуру и свойства которых сложно воспроизвести синтетическим путем; разработанные методики либо позволяют получить чисто аморфные силикаты магния, которые, по данным проведенных испытаний, не обладают необходимым набором трибологических характеристик, либо очень сложны в исполнении и делают эти добавки слишком дорогими, сопоставимыми по цене с другими нанопорошками, представленными на рынке.

В связи с вышеизложенным целью настоящего исследования была разработана простая методика синтеза слоистых наночастиц силикатов магния, имеющих структуру и трибологические свойства, близкие к природным серпентинам.

### Методика эксперимента

Синтез серпентина  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$  проводили по следующей методике. В качестве исходных веществ брали: шестиводный нитрат магния  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  (х.ч.); жидкое (40% раствор силиката натрия состава  $Na_2O \cdot 2,8 SiO_2$ ) и дистиллированную воду.

Для получения 10 г серпентина в 43,6 мл раствора соли магния при постоянном интенсивном перешивании (с помощью магнитной мешалки) очень медленно, небольшими порциями, добавляли раствор жидкого стекла (разбавление водой 1:4) (15,15 г 40%-го раствора жидкого стекла + 60,6 г дистиллированной воды).

Приготовление раствора соли магния и определение содержания в нём MgO проводили следующим образом. Шестиводный нитрат магния ( $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) является хорошо растворимым кристаллическим веществом, поэтому 100 г навески соли растворяли в 110 мл дистиллированной воды при тщательном перемешивании. Для определения титра MgO в полученном растворе в колбу ёмкостью 250 мл помещали 2 мл раствора и разбавляли до метки дистиллированной водой. Затем отбирали пробу пипеткой 10 мл в колбу ёмкостью 250 мл, добавляли 5 мл аммонийного буферного раствора и эриохром чёрный (индикатор) до появления малинового цвета. Титровали раствором трилона Б с молярной концентрацией  $C_M = 0,05463$  моль/л. Повторяли 3 раза. Согласно уравнению

$$T(MgO) = 0,001(C(ЭДТА) V(ЭДТА) M(MgO) V_k / (V_{n1} \cdot V_{n2})), \text{ (г/мл)},$$

где  $T(MgO)$ ,  $C(ЭДТА)$ ,  $V(ЭДТА)$ ,  $M(MgO)$ ,  $V_k$ ,  $V_{n1}$ ,  $V_{n2}$  – соответственно: титр MgO, концентрация трилона Б, объем раствора трилона Б, пошедший на титрование, молярная масса MgO, объем колбы для титрования, объем первой аликвоты, взятой для последовательного разбавления в колбу на 250 мл, объем второй аликвоты, взятой для последовательного разбавления в колбу на 250 мл; имеем

$$T(MgO) = 0,001(0,05463 \cdot 3,77 \cdot 40,305 \cdot 250 / (2 \cdot 10)) = 0,1 \text{ (г/мл)}.$$

Количество соли магния и жидкого стекла, необходимых для получения образца синтетического серпентина в количестве 10 г, рассчитывали из следующих соображений. Учитывая, что молярная масса серпентина (без учета кристаллогидратной воды) составляет 277,087 г/моль, количество MgO в растворе для получения 10 г  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$  согласно закону эквивалентов составляет 4,36 г. Объем раствора соли, необходимый для получения серпентина, находим из равенства

$$V(\text{соли}) = X_1 / T(MgO) = 4,36 / 0,1 = 43,6 \text{ мл}.$$

Из химической формулы серпентина следует, что 1 моль серпентина (277,087 г) содержит 10 г оксида кремния  $\text{SiO}_2$ , следовательно 10 г серпентина должно содержать 4,34 г оксида кремния.

Так как для получения серпентина используется 40% водный раствор жидкого стекла состава  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,8\text{SiO}_2$ , его необходимое количество для получения 10 г серпентина составляет 15,15 г. После разбавления дистиллированной водой в соотношении 1:4 необходимое количество раствора жидкого стекла составляет 60,6 г.

Синтез проводился при постепенном введении раствора соли магния в раствор жидкого стекла при постоянном перемешивании и последующем созревании в течение 24 ч, после чего дисперсия просушивалась при 60 °С в течение 48 ч, а полученный порошок использовали для приготовления дисперсии (концентрация 3%) в базовом масле марки И-20 для получения модельной смазочной композиции. Для обеспечения снижения степени агломерирования частиц серпентина в раствор вводили неионогенное маслорастворимое поверхностно-активное вещество (ПАВ, олеиновая кислота) в количестве 0,1% от массы серпентина, содержащегося в дисперсии, и подвергали ультразвуковой обработке в течение 1 ч.

Химический состав синтезированных порошков изучали с помощью электронного сканирующего микроскопа ESEM Philips XL130, оснащенного приставкой для энергодисперсионного анализа EDS Pegasus. Морфологию частиц серпентина исследовали с использованием просвечивающего электронного микроскопа iCE-3500.

Для оценки влияния природных и синтетических порошков серпентина на антифрикционные свойства смазочных композиций исследовали влияние стандартной 3% добавки соответствующих порошков (фракция до 3 мкм) к машинному маслу марки И-20 на момент силы трения. Все эксперименты проводили в аналогичных условиях с использованием масляных дисперсий как синтетического, так и природного серпентинитов. При этом седиментационную стабильность дисперсии серпентинитов в масле определяли оптическим методом согласно методике [11] по изменению соотношения интенсивности полос поглощения, соответствующих длинам волн 210 и 300 нм в спектре поглощения дисперсии, для чего использовали спектрофотометр Evolution 300, работающий по двухлучевой схеме с кюветами из кварцевого стекла.

Лабораторные трибологические испытания проводили на четырёхшариковой машине трения МТУ-1М. Каждый опыт проводили на новой пробе испытуемого смазочного материала с использованием новой пары трения, а полученные усредненные значения использовали для построения кинетических кривых изменения значения момента силы трения в течение 1 часа испытаний. Для проведения трибологических испытаний использовали шарики диаметром  $12,7 \pm 0,01$  мм, изготовленные из стали ШХ-15 (ГОСТ 801-78) в соответствии с ГОСТ 3722-81.

Перед началом каждого испытания все детали машины, с которыми соприкасается испытуемый смазочный материал, промывали растворителем «Ацетон технический» (ГОСТ 2768-84) и просушивали на воздухе в течение 1 ч. Шарики до и после эксперимента промывали несколькими порциями растворителя до тех пор, пока растворитель не становился прозрачным, и просушивали шарики на воздухе в течение 1 ч.

Для проведения испытаний промытые и высушенные стальные шарики закрепляли в шпинделе машины трения и в чашке, после чего заполняли чашку экспериментальным смазочным материалом так, чтобы нижние шарики были полностью покрыты им. Затем устанавливали чашку в машину трения, плавно прилагали необходимую нагрузку и включали электродвигатель. Прижимную нагрузку во всех экспериментах поддерживали равной 100 Н.

### Результаты и обсуждение

Полученные порошки синтетического серпентина имеют слоистую форму частиц (рис. 1); причем при введении ПАВ как при использовании природного, так и синтетического серпентинитов происходит снижение среднего размера частиц за счет разрушения агломератов. При этом агломераты синтетического серпентина разрушаются легче, чем природного. Об этом свидетельствуют результаты исследования оптических свойств дисперсий обеих серпентинитов (рис. 2, таблица).

Влияние обработки ПАВ на величину отношения коэффициентов экстинкции водных дисперсий природного и синтетического серпентинитов

Длина волны, нм	Природный серпентинит		Синтетический серпентин	
	до обработки ПАВ	после обработки ПАВ	до обработки ПАВ	после обработки ПАВ
210 нм	4,161	4,097	3,939	3,708
300 нм	0,477	0,384	0,229	0,106
Отношение коэффициентов экстинкции	8,723	10,669	17,201	34,98

Поскольку величина соотношения интенсивности полос поглощения при длинах волн 210 и 300 нм для дисперсий плоских наночастиц тем больше, чем ближе форма объектов поглощающих УФ излучение в дисперсии приближается к дисковидной (плоской, квазидвумерной), отступая от шарообразной, свойственной для агломератов чешуйчатых частиц. Последнее особенно важно, учитывая, что трибологические свойства смазочных материалов, содержащих наночастицы антифрикционных добавок, значительно выше, чем у смазочных материалов, содержащих такие же частицы в агломерированной форме [3].

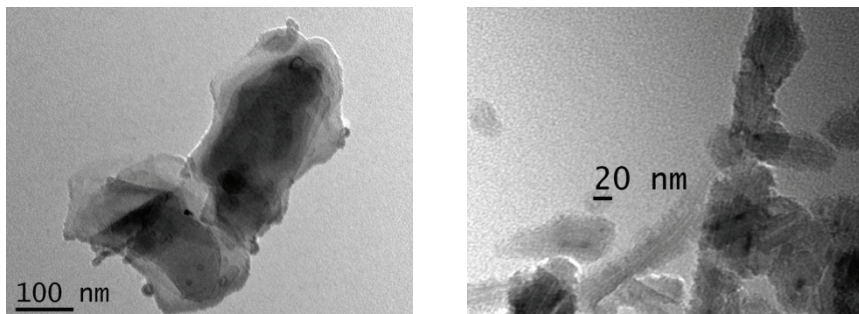


Рис. 1. Электронные фотографии (ПЭМ) частиц синтетического серпентина до (слева) и после (справа) обработки в растворе неионогенного ПАВ

Синтетический серпентин после обработки ПАВ представлен в дисперсиях в виде почти полностью эксфолированных чешуйчатых наночастиц (рис. 1).

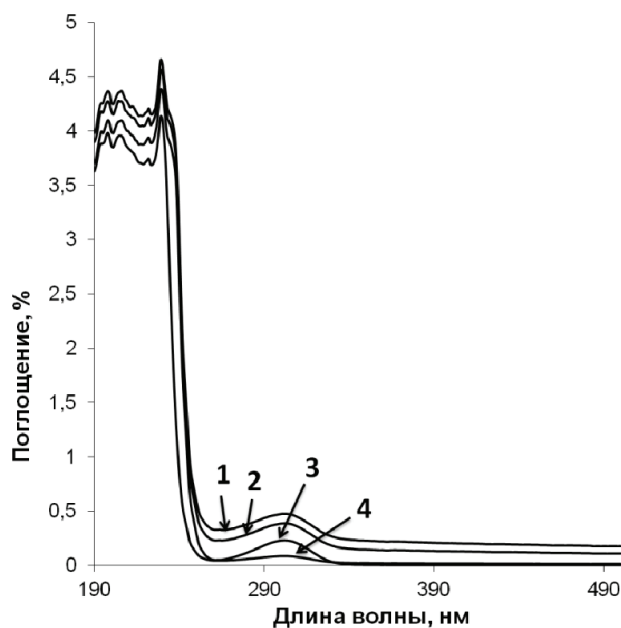


Рис. 2. Спектры поглощения масляных дисперсий природного (1,2) и синтетического (3,4) серпентинита до (1, 3) и после (2,4) стабилизации добавками поверхностно-активного вещества

Результаты трибологических испытаний показали, что модельные смазочные композиции на базе как природного, так и синтетического серпентина в процессе притирки способствуют значительному снижению величин момента силы трения (коэффициента трения) трущихся металлических поверхностей, что, согласно [7-10], связано с протеканием процессов формирования на поверхностях трения защитных металлокерамических пленок. Перед началом формирования на поверхности металла защитной пленки происходит ее шаржирование более твердыми частицами силиката натрия, остатки которого содержатся в составе дисперсии. Происходит запуск двух основных процессов: абразивного изнашивания (приработки) трущихся поверхностей и неустойчивого процесса формирования защитной керамической пленки. На этих начальных этапах действия антифрикционной добавки момент силы трения смазочной композиции даже несколько превышает значения, характерные для чистого базового масла (рис. 3). Однако уже через 5-6 минут притирки, момент силы трения начинает снижаться достигая относительно стабильной величины через 45-55 минут работы.



Примечательно, что величина равновесного значения момента силы трения при использовании синтетического серпентина на 15-20% ниже, чем при использовании его природного аналога. При этом формирование покрытия происходит за более короткие (на 15-20%) интервалы времени.

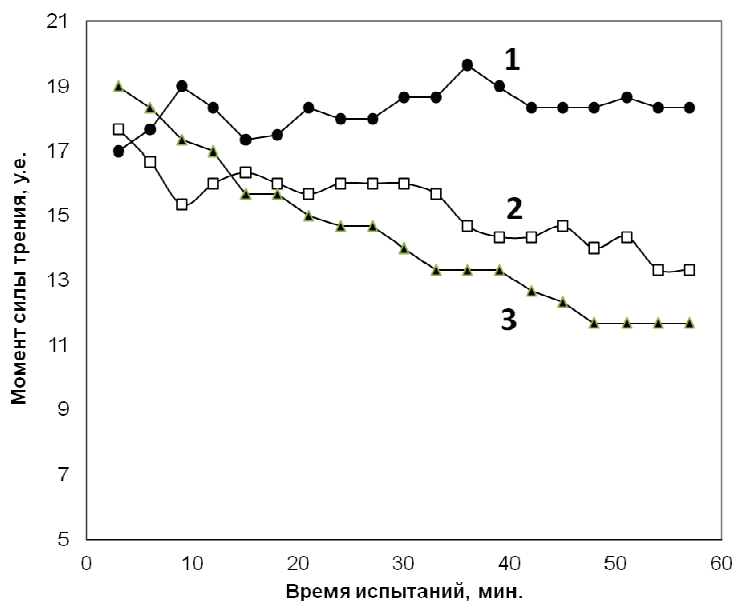


Рис. 3. Кинетика изменения момента силы трения при испытаниях на четырехшариковой машине в присутствии масла И-20 без антифрикционной добавки (1), а также в присутствии 3% добавки природного (2) и синтетического (3) серпентина

### Выводы

1. Разработана методика синтеза искусственного серпентина в водных растворах при взаимодействии силиката натрия и нитрата магния.
2. Показано, что наночастицы полученного продукта имеют чешуйчатую слоистую структуру, подобную структуре природных минералов группы серпентинитов, однако более легко подвергаются эксфолиации под действием поверхностно-активных веществ.
3. Обнаружено, что трибологические свойства синтетического серпентина превосходят аналогичные свойства природного серпентинита, в частности обладают менее выраженным абразивным действием на стадии притирки и способствуют более быстрому формированию на трущихся поверхностях антифрикционного покрытия с более низким значением коэффициента трения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, соглашение № 14.В37.21.1080 и в рамках госзадания на выполнение НИР вузами в 2012 г.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Wear prevention behaviour of nanoparticle suspension under extreme pressure conditions / A. Hernández Battez, R. González, D. Felgueroso, J.E. Fernández, Ma. del Rocío Fernández, M.A. García, I. Peñuelas // *Wear*. 2007. Vol. 263. № 7-12. P. 1568-1574.
2. Вольченко Н.А. Нанотрибология при взаимодействии поверхностных слоев пар трения барабанно-колодочных тормозов / Н.А. Вольченко, П.А. Поляков // *Вестник СГТУ*. 2012. №1. С. 41-47.
3. Hudson L.K. Nanotechnology in action: Overbased nanodetergents as lubricant oil additives / L.K. Hudson, J. Eastoe, P.J. Dowding // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2006. Vol. 123-126. P. 425-431.
4. Preparation of NiMoO<sub>2</sub>S<sub>2</sub> nanoparticle and investigation of its tribological behavior as additive in lubricating oils / P. Ye, X.Jiang, S. Li, Sh. Li // *Wear*. 2002. Vol. 253. № 5-6. P. 572-575.
5. Cu nanoparticles effect on the tribological properties of hydrosilicate powders as lubricant additive for steel-steel contacts / B.-S. Zhang, B.-S. Xu, Y. Xu, F. Gao, P.-J. Shi, Y.-X. Wu // *Tribology International*. 2011. Vol. 44. № 7-8. P. 878-886.
6. Surface restoration induced by lubricant additive of natural minerals / Y. Yu, Gu, F.Y. Kang, X.Q. Kong, W. Mo // *Appl. Surf. Sci.* 2007. Vol. 253: P. 7549-53.
7. Телух Д.М. Введение в природу использования слоистых гидросиликатов в трибосопряжениях / Д.М. Телух, В.Н. Кузьмин, В.В. Усачев // *Трение, износ, смазка*. 2009. №3. [www.74rif.ru/class-prisad.html](http://www.74rif.ru/class-prisad.html).

8. The elastic characteristics of serpentinite dehydration at high temperature–high pressure and its significance / H.S. Xie, W.G. Zhou, Y.W. Li, J. Guo, Z.M. Xu // Chin. J. Geophys. 20 J.L.00. Vol. 43. № 6. P. 806-11.
9. Reinen L.A. Two-mechanism model for frictional sliding of serpentinite / L.A. Reinen, T.E. Tullis, J.D. Weeks // Geophys. Res. Lett. 1992. Vol. 19. P. 1535-1538.
10. Pogodaev L.I. The mechanism of interaction between natural laminar hydrosilicates and friction surfaces / L.I. Pogodaev, I.A. Buynaovskii, E.Y. Kryukov // J. Mach. Manuf. Reliab. 2009. Vol.38. P. 476-484.
11. Surface mode induced extinction of potassium titanate nanoplatelets / D.A. Zimnyakov, A.V. Gorokhovskiy, E.V. Tret'yachenko, O.V. Ushakova, E.A. Isaeva, A.A. Isaeva // Optical Materials. 2012. Vol. 34. P. 1865-1868.

**Гороховский Александр Владиленович** –  
доктор химических наук, профессор кафедры  
«Химия» Саратовского государственного  
технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Смирнова Ольга Алексеевна** –  
кандидат химических наук, доцент кафедры  
«Химия» Саратовского государственного  
технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Азаров Александр Сергеевич** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Надежность и ремонт машин» Саратовского  
государственного аграрного университета  
имени Н.И. Вавилова

**Сафонов Валентин Владимирович** –  
доктор технических наук, профессор, заведующий  
кафедрой «Надежность и ремонт машин»  
Саратовского государственного аграрного  
университета имени Н.И. Вавилова

**Третьяченко Елена Васильевна** –  
кандидат химических наук, доцент кафедры  
«Химия» Саратовского государственного  
технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Гоффман Владимир Георгиевич** –  
доктор химических наук, профессор кафедры  
«Химия» Саратовского государственного  
технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Шиндров Александр Александрович** –  
студент Саратовского государственного  
технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Колбасина Татьяна Николаевна** –  
студент Саратовского государственного  
технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Aleksander V. Gorokhovskiy** –  
Dr. Sc., Professor  
Department of Chemistry  
Gagarin Saratov State Technical University

**Olga A. Smirnova** –  
Ph.D., Associate Professor  
Department of Chemistry  
Gagarin Saratov State Technical University

**Aleksander S. Azarov** –  
Ph.D., Associate Professor  
Vavilov Saratov State Agricultural University

**Valentin V. Safonov** –  
D.Sc., Professor  
Vavilov Saratov State  
Agricultural University

**Elena V. Tretyachenko** –  
Ph.D., Associate Professor  
Department of Chemistry  
Gagarin Saratov State Technical University

**Vladimir G. Goffman** –  
Dr. Sc., Professor  
Department of Chemistry  
Gagarin Saratov State Technical University

**Aleksander A. Shindrov** –  
Undergraduate  
Gagarin Saratov State Technical University

**Tatiana N. Kolbasina** –  
Undergraduate  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 678.7

**И.А. Ильиных, А.Г. Юдин, Н.В. Шатрова, А.А. Шевелев, Д.И. Литовченко, А.С. Мостовой,  
О.С. Арзамасцев, А.В. Ермоленко, Д.В. Кузнецов, И.Н. Бурмистров**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ СТРУКТУРНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИСПЕРСНОПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Исследовано влияние структурных параметров композиционного материала на основе полипропилена и гексагонального нитрида бора на механические свойства*

ства. Обоснована максимальная степень наполнения, обеспечивающая наилучшую монолитность образцов в исследуемой системе, и установлена зависимость прочностных характеристик композита от изменения температуры испытания.

Полимерные композиционные материалы, степень наполнения, полипропилен, нитрид бора, физико-химические и механические свойства

I.A. Plyin, A.G. Yudin, N.V. Shatrova, A.A. Shevelev, D.I. Litovchenko, A.S. Mostovoy, O.S. Arzamastsev, A.V. Ermolenko, D.V. Kuznetsov, I.N. Burmistrov

## RESEARCH OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES FILLED WITH DISPERSED FILLERS

*In this work we investigated the influence referring the structural parameters of the composite material on the mechanical properties based on polypropylene and hexagonal boron nitride. The maximum degree of filling providing the best solidity of samples in this system was substantiated, as well as the dependence of strength characteristics of the composite from the changes in the test temperature.*

Polymer composite material, degree of filling, polypropylene, boron nitride, physical-chemical and mechanical properties

### Введение

Интенсивный рост потребности в новых функциональных материалах привлекает внимание к различным наполнителям, обладающим специфическими свойствами: высокая тепло- или электропроводность, термоэлектрические, магнитные, прочностные характеристики и структура [1]. Наибольшее внимание современных исследователей приобретают наполнители, особые свойства которых определяются высокой степенью дисперсности и, в первую очередь, наноматериалы [2]. Среди данной группы материалов находится гексагональный нитрид бора, привлекающий внимание как наполнитель, имеющий высокую теплопроводность, пластинчатую структуру (применяется в качестве смазочного материала) и ряд других ценных свойств. Важной научно-технической проблемой, требующей решения для создания конкурентоспособных функциональных материалов на основе нитрида бора гексагонального, является исследование структурных особенностей полимерных композитов на его основе: критической степени наполнения, параметров переходного слоя и др. В связи с этим целью данной работы является исследование механических свойств и структурных особенностей полимерных композиционных материалов на основе крупнотоннажного полиолефина – полипропилена и нитрида бора гексагонального.

### Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования были выбраны полипропилен марки 21030-16Н (гомополимер, универсальная экструзионно-литьевая марка производства Томскнефтехим, Россия) и гексагональный нитрид бора, средний размер частиц 137 нм. Физико-механические испытания экспериментальных образцов полимерных композитов проводили на динамическом механическом анализаторе (ДМА) Q800 фирмы TA INSTRUMENT (США). Эксперименты проводили по методу трехточечного изгиба в многочастотном режиме в диапазоне температур от 30 до 150 °С.

Расчет объемной доли нитрида бора производили по формуле

$$W_{об.НБ} = \frac{\frac{W_{массНБ}}{\rho_{НБ}}}{\frac{W_{массНБ}}{\rho_{НБ}} + \frac{(1 - W_{массНБ})}{\rho_{ПП}}}, \quad (1)$$

где  $W_{массНБ}$  – массовая доля нитрида бора, долей от единицы,  $\rho_{НБ}$  – истинная плотность нитрида бора, г/см<sup>3</sup>,  $\rho_{ПП}$  – истинная плотность полипропилена, г/см<sup>3</sup>.

Расчет теоретического модуля упругости производили по формуле

$$E = k(W_{об.НБ} \cdot E_{НБ} + (1 - W_{об.НБ}) \cdot E_{ПП}), \quad (2)$$

где  $E_{НБ}$  – модуль упругости нитрида бора ( $E_{НБ} = 706$  ГПа),  $E_{ПП}$  – модуль упругости полипропилена ( $E_{ПП} = 870$  МПа),  $k$  – коэффициент, учитывающий неоднородности, возникающие в материале в результате введения наполнителя и снижающие модуль упругости (с целью наглядного сопоставления данных на графике, представленном на рис. 1, коэффициент условно принят равным  $k = 1/25$ ).

Расчет усредненной толщины переходного слоя:

$$\delta = \frac{\sqrt[3]{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 \varphi_{\max}} - d}{2}, \quad (3)$$

Объемная доля переходного слоя:

$$W_{\text{пер.сло}} = \frac{\frac{4}{3}\pi\left(\left(\frac{d+2\delta}{2}\right)^3 - \left(\frac{d}{2}\right)^3\right)}{(d+2\delta)^3} \quad (4)$$

Объемная доля недоступной полимерной части связующего, заключенного между частицами наполнителя:

$$W_{\text{нн.св}} = \frac{(d+2\delta)^3 - \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d+2\delta}{2}\right)^3}{(d+2\delta)^3} \quad (5)$$

### Результаты эксперимента и обсуждение

Зависимости физико-механических свойств полипропилена, наполненного гексагональным нитридом бора, представлены на рис. 1-3.

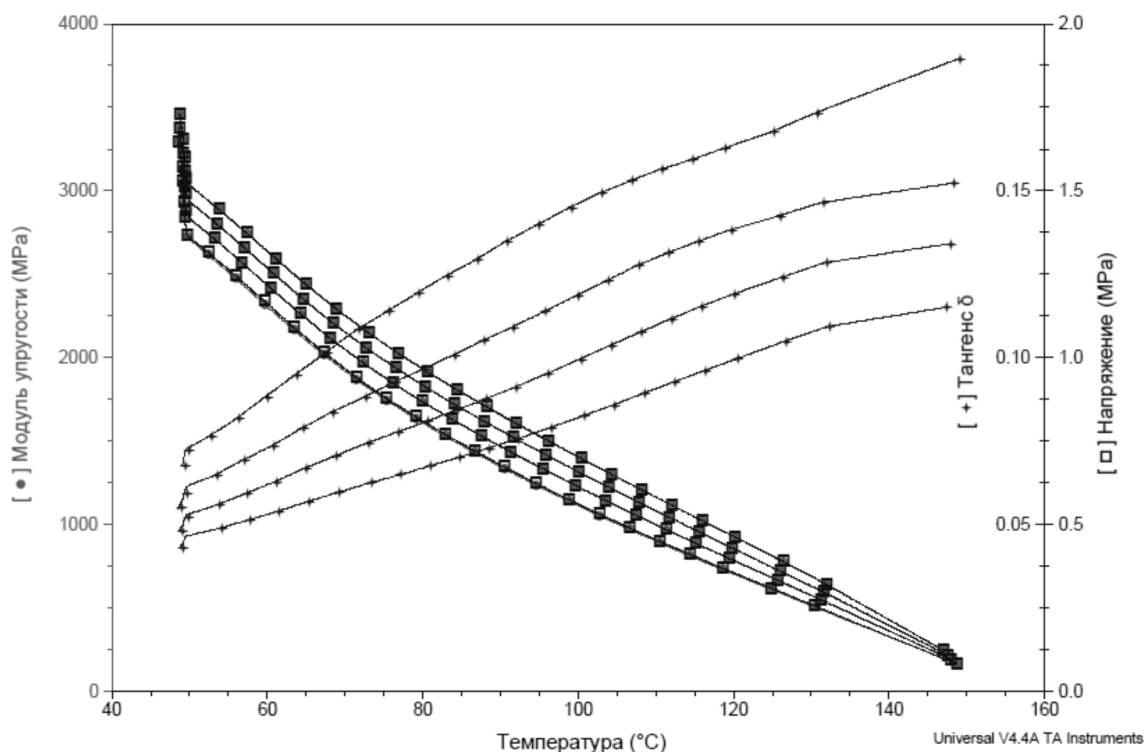


Рис. 1. Влияние температуры на физико-механические свойства полипропилена, наполненного гексагональным нитридом бора при степени наполнения 25 % масс.

Сравнительный анализ результатов измерения модуля упругости, представленных на рис. 1-3, показывает его закономерное возрастание при увеличении степени наполнения композита, которое объясняется, в первую очередь, аддитивным разбавлением сравнительно низко модульной полимерной матрицы ( $E_{\text{ПП}} = 870$  МПа) высоко модульным наполнителем ( $E_{\text{НБ}} = 706$  ГПа). Значения эмпирически определенного модуля упругости были сопоставлены с данными теоретического расчета приближительной величины модуля упругости композита, полученными на основании допущения об аддитивном влиянии компонентов и линейном изменении дефектов (пустот, флуктуаций плотности) и степени кристалличности матрицы от содержания наполнителя (рис. 5, таблица).

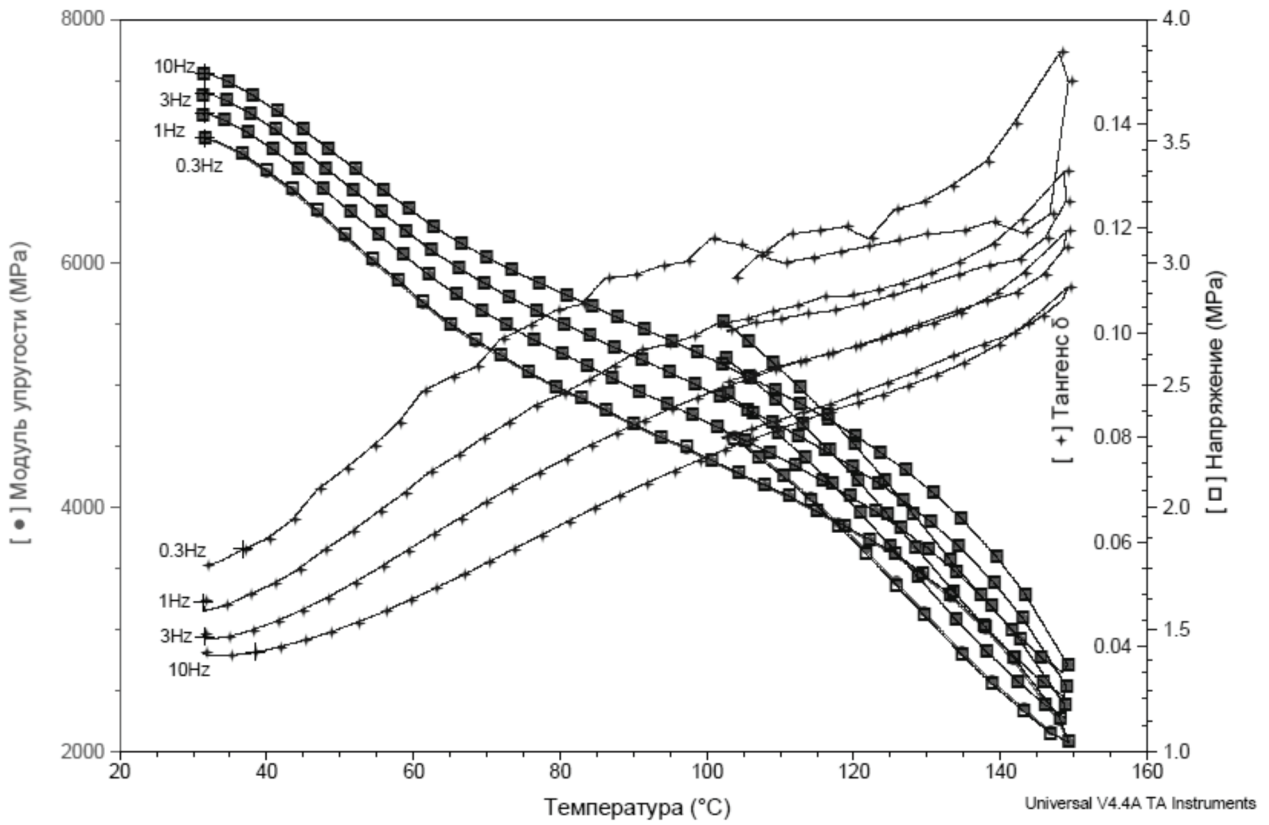


Рис. 2. Влияние температуры на физико-механические свойства полипропилена, наполненного гексагональным нитридом бора, при степени наполнения 40 % масс.

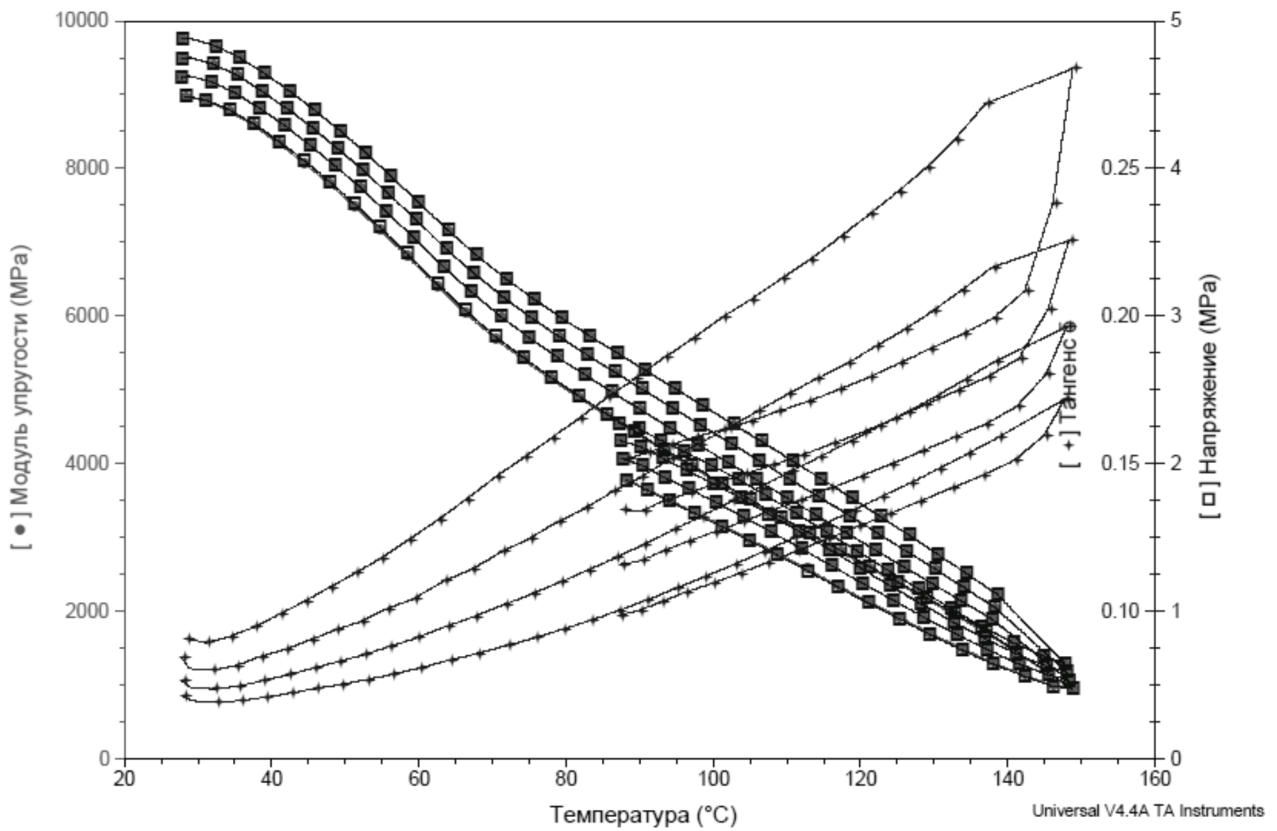


Рис. 3. Влияние температуры на физико-механические свойства полипропилена, наполненного гексагональным нитридом бора, при степени наполнения 70 % масс.

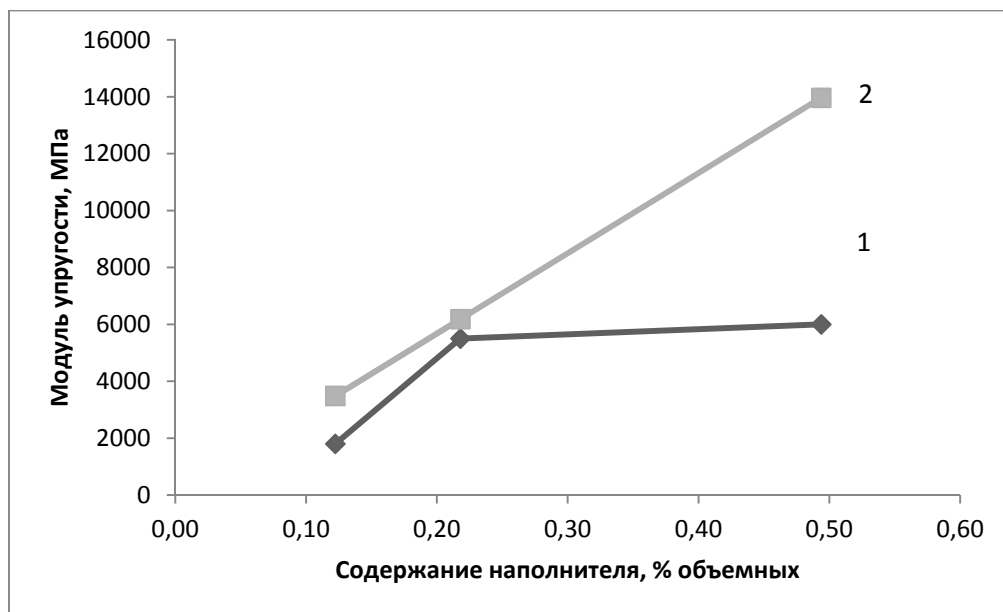


Рис. 4. Зависимость эмпирического (кривая 1) и теоретического (кривая 2) значений модуля от объемной доли наполнителя

Сравнительные результаты эмпирических и расчетных значений модуля упругости

Степень наполнения, %, масс.	Степень наполнения, %, об.	Модуль упругости, МПа, эмпирические данные	Модуль упругости, МПа, теоретический расчет на основе допущений об аддитивном влиянии компонентов
0,25	0,12	1800	3485
0,4	0,22	5500	6184
0,7	0,49	6000	13964

Следует отметить, что зависимость эмпирического значения модуля упругости  $E = f(W)$ , где  $W$  – объемная доля наполнения, носит нелинейный характер, причем при степени наполнения более 22% об. (40% масс.) модуль изменяется незначительно. Этот факт может быть объяснен тем, что предельная степень наполнения, определяемая долей связанной части полимера, находящейся в переходном слое, составляет не более 22% об. (40% масс.). Поэтому наполнение более 22% об. (40% масс.) приводит к нарушению монолитности образца, существенному росту дефектов и не вызывает роста прочностных показателей.

Предполагая, что 22% об. (40% масс.) является максимальной степенью наполнения можно рассчитать усредненные параметры переходного слоя.

Средний размер частиц нитрида бора 137 нм, форма частиц близка к сферической. Принимая следующие упрощения: форма частиц наполнителя – шар с размером  $d = 137$  нм, степень наполнения 22% об. равна максимальной ( $\varphi_{\max}$ ), рассчитаем основные структурные параметры композита.

Усредненная толщина переходного слоя:

$$\delta = 23 \text{ нм};$$

Объемная доля переходного слоя:

$$W_{\text{пер.слоя}} = 0,30;$$

Объемная доля недоступной полимерной части связующего, заключенного между частицами наполнителя:

$$W_{\text{нsv.}} = 0,48.$$

На основании полученных данных можно построить схематичное изображение композиционного материала с предельной степенью наполнения (рис. 5).

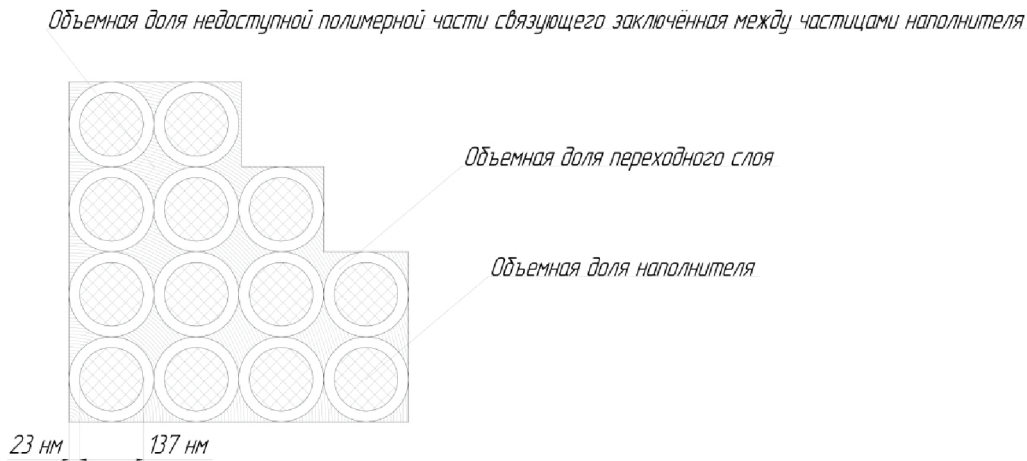


Рис. 5. Схематическое изображение композиционного материала со степенью наполнения, равной 0,22 % об.

При повышении температуры образца происходит снижение периода релаксации сегментов макромолекул, обуславливающее увеличение доли вязкой составляющей в деформационном спектре материала. В результате этого происходит возрастание способности материала к поглощению механических колебаний (увеличение показателя  $\text{tg } \delta$ , рис. 1-3).

Повышение температуры испытания образцов полимерных материалов неизбежно ведет к ускорению накопления дефектов матрицы и усталостному снижению модуля упругости и прочности материала (согласно молекулярно-кинетической теории разрушения период ожидания разрыва отдельной химической связи  $\tau = \tau_0 e^{(U_0 - \gamma\sigma)/kT}$ , где  $\tau_0$  – период колебания атомов в полимерной цепи,  $U_0$  – энергия активации разрыва ненагруженной связи,  $\gamma$  – структурно-чувствительный коэффициент,  $\sigma$  – механическая нагрузка,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура). Эти процессы находят отражение на кривых зависимости модуля упругости от температуры при частичном возвращении температуры к исходной точке измерения (рис. 2, 3). На рис. 2 при уменьшении температуры ниже 120°C отмечено повышение модуля по сравнению с исходными значениями. Вероятно, в данном случае имеет место либо сшивка в небольшой степени макромолекул полипропилена при нагреве, либо повышение плотности материала вследствие релаксации внутренних напряжений (отжиг). Отсутствие данного эффекта на кривых рис. 3 может быть связано с большей степенью наполнения и, следовательно, более высокой дефектностью полимерной матрицы.

### Выводы

Таким образом, исследование зависимости механических свойств от степени наполнения показало, что наиболее целесообразно использовать композиционные материалы со степенью наполнения порядка 22% объемных (40% масс.), при этом достигается максимальная монолитность образца и может быть спрогнозировано оптимальное сочетание показателей прочностных свойств.

Исследование температурных зависимостей модуля упругости и  $\text{tg } \delta$  показало закономерное снижение прочностных характеристик композита при повышении температуры испытания, однако, при нормируемых рабочих температурах светодиодов (70°C) требуемые показатели жесткости материала сохраняются.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Производство субмикронаноразмерных полититанатов калия и композиционных материалов на их основе / А.В. Гороховский, А.И. Палагин, Л.Г. Панова, Т.П. Устинова, И.Н. Бурмистров, Д.В. Аристов // Нанотехника. 2009. № 19. С. 38-44.
2. A review of the possible applications of nanotechnology in refractory concrete / V. Antonovič, I. Pundienė, R. Stonys, J. Čėsniėnė, J. Kerienė // Journal of civil engineering and management. 2010. № 16(4). P. 595-602

**Ильиных Игорь Алексеевич** – аспирант кафедры «Функциональные наносистемы и высокотемпературные материалы Национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов»

**Igor A. Ilyinykh** – Postgraduate Department of Functional Nanosystems and High Temperature Materials National University of Science and Technology «Moscow Institute of Steel and Alloys»

**Юдин Андрей Григорьевич** – аспирант кафедры «Функциональные наносистемы и высокотемпературные материалы» Национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов»

**Шатрова Надежда Викторовна** – аспирант кафедры «Функциональные наносистемы и высокотемпературные материалы» Национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов»

**Шевелев Алексей Анатольевич** – аспирант кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Литовченко Дарья Игоревна** – аспирантка дневной формы обучения кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Мостовой Антон Станиславович** – аспирант дневной формы обучения кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Арзамасцев Олег Сергеевич** – аспирант кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Ермоленко Анна Валерьевна** – инженер Центрального научно-исследовательского испытательного института Министерства обороны Российской Федерации

**Кузнецов Денис Валерьевич** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Функциональные наносистемы и высокотемпературные материалы» Национального исследовательского технологического университета «Московский институт стали и сплавов»

**Бурмистров Игорь Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Andrew G. Yudin** – Postgraduate  
Department of Functional Nanosystems and High Temperature Materials  
National University of Science and Technology  
«Moscow Institute of Steel and Alloys»

**Nadezhda V. Shatrova** – Postgraduate  
Department of Functional Nanosystems and High Temperature Materials  
National University of Science and Technology  
«Moscow Institute of Steel and Alloys»

**Alexey A. Shevelev** – Postgraduate  
Department of Chemical Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Daria I. Litovchenko** – Postgraduate  
Department Chemical Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Anton S. Mostovoy** – Postgraduate  
Department of Chemical Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Oleg S. Arzamastsev** – Postgraduate  
Department of Chemical Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Anna V. Ermolenko** – Engineer Central scientific-research test Institute  
Ministry of defense of the Russian Federation

**Denis V. Kuznetsov** – Ph.D.  
Head: Department of Functional Nanosystems and High Temperature Materials  
National University of Science and Technology  
«Moscow Institute of Steel and Alloys»

**Igor N. Burmistrov** – Ph.D., Associate Professor  
Department of Chemical Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 12.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*



УДК 678.7

**Ю.А. Кадыкова, С.В. Улегин, Э.Г. Фархутдинова, В.А. Сотник****ПОЛИМЕРМАТРИЧНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ МАТРИЦЫ, НАПОЛНЕННОЙ ДИСПЕРСНЫМ БАЗАЛЬТОМ**

*Изучены возможность и эффективность применения дисперсного базальта в качестве наполнителя для эпоксидного компаунда. Установлено повышение физико-химических и механических свойств композиций, наполненных базальтом, что позволяет расширить области применения данного наполнителя для создания полимерматричных композиционных материалов широкого спектра использования.*

Эпоксидная смола, отвердитель, базальт, наполнение, физико-химические и механические свойства

**Yu.A. Kadykova, S.V. Ulegin, E.G. Farhutdinova, V.A. Sotnik****POLYMERMATRIX COMPOSITE MATERIALS BASED ON EPOXY MATRIX  
OF FILLING DISPERSIVE BASALTS**

*The article provides a study of the feasibility and effectiveness of particulate basalt as a filler for epoxy resin. The increase of physical, chemical and mechanical properties of the compositions, filled with basalt was diagnosed, which allows to extend the application area of the filler to create polymermatrix composite materials having a wide range of application.*

Epoxy resin, hardener, basalt, content, physical, chemical and mechanical properties

Эпоксидные олигомеры и полимеры являются одним из лучших видов связующих для большого числа наполнителей. Достоинствами эпоксидных связующих являются: хорошая адгезия к большинству наполнителей, отсутствие выделения летучих побочных продуктов при отверждении, пониженная усадка по сравнению с фенольными и полиэфирными материалами, высокая химическая стойкость, хорошие электроизоляционные показатели. Эпоксидные олигомеры и полимеры применяются в различных областях техники благодаря удачному сочетанию несложной технологии переработки с высокими физико-механическими показателями, теплостойкостью, адгезией к различным материалам, стойкостью к различным средам, а также способностью отверждаться при атмосферном давлении с малой усадкой. Так, они широко используются для герметизации и капсулирования различных деталей в целях защиты от действия окружающей среды. В электротехнике эпоксидные олигомеры используют для заливки обмоток трансформаторов и двигателей, для герметизации стыков электрических кабелей и т.п. [1].

В настоящее время современные экономические условия требуют получения композитов не только с высоким комплексом характеристик, но и доступных, с достаточно низкой стоимостью. Поэтому большие потенциальные возможности улучшения характеристик композиционных материалов заложены в использовании недорогих и эффективных наполнителей, в число которых, безусловно, входит базальт – наиболее распространенная излившаяся вулканическая порода на поверхности нашей планеты. В РФ известно более 200 месторождений базальтовых пород, из них более 50 месторождений эксплуатируются. Базальты распространены повсеместно: Камчатка, Сибирь, Урал, Карелия. Например, запасы только двух разведанных и изученных месторождений базальтов на территории Плесецкого и Онежского районов Архангельской области составляют более 600 млн. м<sup>3</sup> (около 2 млрд т). Базальты добывают в карьерах открытым способом. Спектр его применения в строительстве очень широк. Базальт используется в виде блоков-плит для мощения, облицовки, в качестве строительного камня, в виде щебня, брусчатки, в качестве наполнителя бетона. Базальты часто используют как сырьё для каменного литья. Из него производят базальтовое волокно, из которого получается прекрасный тепло- и звукоизоляционный материал (каменная или базальтовая вата).

В ранних работах [2] был исследован состав эпоксидного связующего и определено оптимальное соотношение компонентов: 70 масс. ч. эпоксидной смолы ЭД-20 15 масс. ч. полиэтиленполиамин (ПЭПА) (в качестве отвердителя) и 30 масс. ч. трихлорэтилфосфата (ТХЭФ) (в качестве пластификатора). Подготовка базальта заключалась в его измельчении на шаровой мельнице в течение

3 часов и фракционировании до размера  $\leq 140$  мкм. Следует отметить, что в эпоксидных композициях измельченный базальт ведет себя как активный наполнитель, повышающий свойства, причем это проявляется как в повышении механических свойств – возрастают твердость по Бринеллю, устойчивость к статическому и динамическому изгибу (удару) при наполнении эпоксидного компаунда 50 масс. ч. базальта, так и физико-химических – кислородный индекс также повышается и снижаются потери массы при поджигании на воздухе (табл. 1).

Таблица 1

Влияние отвердителя на свойства базальтонаполненных эпоксидных композиций состава: 70 масс. ч. ЭД-20 + 30 масс. ч. ТХЭФ

Количество базальта, масс. ч.	Ударная вязкость, $\kappa\text{Дж/м}^2$	Твердость по Бринеллю, МПа	Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	Потери массы при поджигании на воздухе, % (масс.)	Кислородный индекс, %
Отвержденные 15 масс. ч. ПЭПА					
-	34	130	45	20	26
1	38	141	50	19	28
50	76	261	122	0,7	37
Отвержденные 40 масс. ч. ПО-300					
-	34	не определяется	4*	23	27
1	52	не определяется	6*	20	29
50	64	152	10*	1,4	31

Примечание: \* – образцы испытаны с надрезом

Эластические свойства эпоксидных матриц можно повысить заменой отвердителя. Применение полиамидного отвердителя марки ПО-300 обеспечивает получение композиций с повышенной эластичностью, большей жизнеспособностью, сравнительно малой усадкой, коррозионной стойкостью и повышенной ударной прочностью, а также не менее важным является и то, что низкомолекулярные полиамиды менее токсичны, чем другие отвердители (например, амины) [3]. У отвержденных ПО-300 эпоксидных составов возрастает устойчивость к ударным нагрузкам при практически одной и той же степени отверждения в сравнении с композитом отвержденным ПЭПА (табл. 1).

При изучении термостабильности образцов термогравиметрическим анализом отмечены: увеличение коксовых остатков, снижение скоростей пиролиза, существенное уменьшение (более чем в 2 раза) потерь массы вплоть до  $600^{\circ}\text{C/г}$ . Выявленное влияние дисперсного базальта на пиролиз эпоксидной смолы проявляется и в поведении материала при горении на воздухе. Образцы, содержащие 50 масс. ч. базальта не поддерживают горения на воздухе и потери массы составляют 0,7%. С увеличением степени наполнения эпоксидной композиции возрастают кислородный индекс и выход карбонизованного остатка (табл. 2).

Таблица 2

Показатели пиролиза и горючести эпоксидных композиций, отвержденных ПЭПА

Состав, масс. ч. на 70 масс. ч. ЭД-20	Температура начала деструкции, $T_n$ , $^{\circ}\text{C}$	Выход карбонизованного остатка по завершении основной стадии пиролиза, % (масс.)	Потери массы при поджигании на воздухе, $\Delta m$ , % (масс.)	Кислородный индекс, %
ЭД-20+15ПЭПА	200	48 ( $390^{\circ}\text{C}$ )	95	19
ЭД-20+30ТХЭФ+15ПЭПА	210	26 ( $533^{\circ}\text{C}$ )	20	26
ЭД-20+30ТХЭФ+15ПЭПА+1базальта	210	29 ( $600^{\circ}\text{C}$ )	19	28
ЭД-20+30ТХЭФ+15ПЭПА+30базальта	210	57 ( $630^{\circ}\text{C}$ )	1,4	30
ЭД-20+30ТХЭФ+15ПЭПА+50базальта	210	62 ( $644^{\circ}\text{C}$ )	0,7	37

Применение базальта в качестве наполнителя эпоксидных композиций не ухудшает диэлектрические свойства материала (табл. 3).

Таблица 3

## Электрические свойства

Состав материала, масс. ч.	$\rho_v$ , Ом·м
100ЭД-20+15ПЭПА	$4,14 \cdot 10^{10}$
70ЭД-20+15ПЭПА+ 30ТХЭФ	$1,86 \cdot 10^{10}$
70ЭД-20+15ПЭПА+ 30ТХЭФ+1базальта	$3,39 \cdot 10^{10}$
70ЭД-20+15ПЭПА+ 30ТХЭФ+30базальта	$4,15 \cdot 10^{10}$
70ЭД-20+15ПЭПА+ 30ТХЭФ+50базальта	$4,65 \cdot 10^{10}$

Таким образом, доказаны эффективность и целесообразность использования для наполнения эпоксидной смолы измельченного базальта, не перерабатывая его в волокна. Установлено повышение физико-химических и механических свойств композиций, наполненных базальтом, что позволяет расширить области применения базальта для создания ПКМ широкого спектра использования. Выявлено влияние базальта на показатели горючести ПКМ на основе эпоксидной смолы: повышается кислородный индекс, снижается время самостоятельного горения, уменьшаются потери массы при поджигании на воздухе.

Применение полиамидного отвердителя марки ПО-300 обеспечивает получение композиций с повышенной эластичностью, большей жизнеспособностью, сравнительно малой усадкой, коррозионной стойкостью и повышенной ударной прочностью. У отвержденных ПО-300 эпоксидных составов возрастает устойчивость к ударным нагрузкам при практически одной и той же степени отверждения в сравнении с композитом, отвержденным ПЭПА.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технологии: учеб. пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др. СПб.: Профессия, 2008. 560 с.
2. Исследование влияния состава эпоксидной композиции на кинетику процесса отверждения / Е.В. Плакунова и [др.] // Пластические массы. 2009. № 1. С. 9-11.
3. Мостовой А.С. Модифицированные эпоксидные смолы как перспективные связующие полимерных композиционных материалов / А.С. Мостовой, Е.В. Плакунова, Л.Г. Панова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. 2011. № 2. С. 34-37.

**Кадыкова Юлия Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Julia A. Kadykova** – Ph.D., Associate Professor  
Department of Chemical Technology  
Engel Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Улегин Сергей Валерьевич** – аспирант кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergey V. Ulegin** – Postgraduate  
Department of Chemical Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Фархутдинова Эльвира Галинуровна** – магистрант технологического факультета Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Elvira G. Farkhutdinova** – Postgraduate  
Department of Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Сотник Виктория Алексеевна** – студент технологического факультета Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Victoria A. Sotnik** – Undergraduate  
Department of Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

С.С. Попова, А.Е. Гоц, Ю.П. Маковецкая

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА В КИСЛЫХ ФУЛЛЕРЕНСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРАХ МОЛИБДАТА НАТРИЯ**

*Методом потенциостатических кривых  $i$ ,  $t$ , оптической микроскопии исследовано поведение  $Ti$  в растворах  $Na_2MoO_4$  и его смеси с  $H_3PO_4+CH_3COOH$  при различных концентрациях фуллера  $C_{60}$  в растворе. Рассчитаны диффузионно-кинетические характеристики. Определены краевой угол смачивания, микротвёрдость образцов, обработанных в указанных растворах. Установлено, что эти характеристики значительно возрастают при введении в раствор  $C_{60}$ . Показано, что образующиеся на  $Ti$ -электроде полимерные плёнки состоят из  $C_{60}$  и молибдат-фосфатных слоев.*

Оптическая микроскопия, краевой угол смачивания, фуллерен, микротвёрдость, коэффициент трения

S.S. Popova, A.E. Gots, Yu.P. Makovetskaya

**EFFECT OF MOLYBDATE IONS ON THE ELECTROCHEMICAL SURFACE MODIFICATION OF THE  $C_{60}$  TITANIUM IN ACID SOLUTIONS**

*The method of potentiostatic curves  $i$ ,  $t$ , and the optical microscope was applied for the study of the  $Ti$  behavior in the  $Na_2MoO_4$  solution and its mixture with  $H_3PO_4 + CH_3COOH$  at different concentrations of the  $C_{60}$  solution. The diffusion-kinetic characteristics have been calculated. The contact angle, and the microhardness of the samples processed in the given solutions has been determined. These features dramatically increase with the introduction of the  $C_{60}$  solution. It is shown that the generators on the  $Ti$ -polymer film electrode are composed of  $C_{60}$  and molybdate-phosphate layers*

Optical microscopy, contact angle, fullerene, microhardness, friction coefficient

**Введение**

В настоящее время экспериментально установлено, что фуллерены являются редокс-активными соединениями [1]. Согласно измерениям потенциалов восстановления и сродства к электрону, по электроноакцепторной активности они сопоставимы с другими органическими молекулами. При этом они способны обратимо восстанавливаться – принимать несколько электронов – с образованием стабильных мультианионов вплоть до гексааниона. Введение в молекулу фуллера атомов водорода электронодонорных заместителей, как и увеличение их числа, приводит к снижению сродства к электрону и сдвигу потенциала восстановления в отрицательную сторону. Электроноакцепторные заместители, например, атомы фтора, облегчают процесс восстановления. Устойчивость анионных интермедиатов, образующихся при восстановлении  $C_{60}$ , определяется зарядом анионов, природой и количеством заместителей. С увеличением заряда стабильность анионов снижается. Образующиеся радикалы и анионы, например  $C_{60}H$  и  $C_{60}H^-$ , являются достаточно сильными кислотами. Для  $C_{60}H_2$   $pK_1=4,7$  и соответственно  $pK_2=16$ . Но для  $C_{60}H_{36}$   $pK_1=31,3$ , т.е. кислотность снижается. В электрохимических реакциях гидрофуллерены восстанавливаются обратимо с образованием анион-радикалов, способных выступать в качестве переносчиков электронов. Таким образом, анион-радикалы гидрофуллеренов являются одновременно донорами и электронов, и протонов. Если процессы переноса электронов и протонов совместить их с электрохимическим генерированием гидрофуллеренов и анион-радикалов, можно реализовать высокоэффективный электрокаталитический процесс восстановления органических соединений. Пики восстановления  $C_{60}$  ( $E_p^{red}$ ) и окисления ( $E_p^{ox}$ ), согласно потенциодинамическим кривым  $Pt$  электрода в среде толуол-диметилформамид (2:1 об)/0,1М  $Et_4NBF_6$  при 100 мВ/с и 22  $C^0$ , составляют соответственно -0,79 В и -0,73 В. Сопоставление зафиксированных с помощью циклических вольтамперограмм ( $v_p=100$  мВ/с) для  $C_{60}$  в среде

орто-ДХБ-ДМФА (3:1<sub>об</sub>)/0,1М Et<sub>4</sub>NBF<sub>4</sub> на стеклоуглероде пиков электровосстановления-электроокисления показывает значительное смещение их в область отрицательных значений потенциала с увеличением числа электронов, участвующих в реакции.

### Методика эксперимента

Целью настоящей работы было исследование возможности формирования плёнок фуллерена на титановом электроде методом электрохимического осаждения из водных растворов смеси уксусной и фосфорной кислот, содержащих молибдат натрия.

Для исследования состояния поверхности титана после электрохимической обработки были проведены опыты в чистом растворе Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>, в смеси с уксусной кислоты и в смешанных растворах Na<sub>2</sub>+MoO<sub>4</sub>+CH<sub>3</sub>COOH+фуллерен. Поверхность электрода анализировали методом оптической микроскопии (с помощью микроскопов MINIME-21 и Axio Imager A2m), а также определяли краевой угол смачивания, коэффициент трения и микротвёрдость.

Обработка титанового электрода велась в потенциостатическом режиме при потенциале -2,7 В (относительно хлорсеребряного электрода сравнения) в течение 30 мин. Содержание Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> в растворе составляло 0,01 моль/л, CH<sub>3</sub>COOH 1,6 моль/л, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 1 моль/л. Концентрация варьировалась от 0,0009 до 0,0027 моль/л.

Перед опытом поверхность титанового электрода подвергалась механической полировке.

Ранее было показано, что в интервале потенциалов от потенциала погружения до -2,7 В адсорбирующиеся на электроде молибдат-ионы превращаются в оксиды молибдена промежуточной валентности [2, 3]. Аналогично для самого титана характерно образование оксидов гомологического ряда Ti<sub>n</sub>O<sub>2n-1</sub> (n=2...10) с высокой степенью дефектности [3,4]. Благодаря особенностям их структуры ионы натрия легко перемещаются в глубь электрода к границе раздела металл/оксид. Согласно ходу циклических потенциодинамических кривых, в диапазоне потенциалов от 0 до -2,7 В имеется несколько задержек потенциала. Сопоставление потенциалов задержек со справочными данными позволяет считать, что на электроде происходит восстановление молибдат-ионов через ряд оксидов молибдена промежуточной валентности. При высоких отрицательных потенциалах становится возможным электровосстановление ионов Na<sup>+</sup>: их интеркалирование в образующиеся на поверхности слои фосфат-молибдатов титана и последующее внедрение в кристаллическую решетку титана. С введением уксусной кислоты в раствор скорость диффузии ионов натрия меняется от 14,5 до 12,0 мАсм<sup>-2</sup>с<sup>1/2</sup>, т.е. остается того же порядка, но значительно снижается плотность тока раздела: от 63,6 до 45 мА/см<sup>2</sup>. Это может быть связано со свойствами уксусной кислоты как растворителя. С увеличением содержания фуллерена от 0,0009 до 0,0027 моль/л в растворе на основе смеси Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> (0,01 моль/л) и CH<sub>3</sub>COOH (1,6 моль/л) скорость переноса ионов Na<sup>+</sup> сохраняется в одних и тех же пределах, но плотность тока разряда снижается почти в 3 раза и более: при добавке фуллерена 0,0027 моль/л она составляет 6,5 мА/см<sup>2</sup> и спустя 5 с процесс переходит в область анодных плотностей тока. Это может быть связано с образованием плёнки фуллерена на электроде и резким возрастанием краевого угла смачивания – он превышает в рассматриваемых условиях 150<sup>0</sup>, почти в 2 раза снижается микротвёрдость образцов.

Для выяснения влияния кислотности раствора на электрохимическое поведение титана в раствор молибдата натрия вводили фосфорную кислоту. В ходе ЦПДК были зафиксированы задержки потенциала в области значений: -1,8; -1,4; -1,3; -1,1; -0,9. Согласно справочным данным, они связаны с внедрением Na в структуру поверхностного смешанного оксида, который образуется на начальном этапе в области E от 0 до -0,8 В и образованием оксидов (Na<sub>x</sub>TiO<sub>2</sub> и Na<sub>x</sub>MoO<sub>2</sub>). С введением фосфорной кислоты в исходный раствор Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> в выбранном интервале потенциалов плотность тока возрастает в 5 раз при 80 мВ/с, а при 4 мВ/с практически не меняется.

### Обсуждение результатов

Исследование в потенциостатическом режиме при E= -2,7 В показало, что с введением фуллерена в раствор молибдата натрия меняется характер изменения тока во времени. Обнаружение задержки при i=10 мА/см<sup>2</sup> может быть связано с образованием адсорбционного слоя молекул фуллерена. Рост тока, предшествующий этой задержке, можно объяснить тем, что фуллерен, образуя с ионами Na<sup>+</sup> эндэдральные соединения, облегчает перенос ионов натрия и внедрение их в электрод. Адсорбция фуллерена, таким образом, облегчает процесс внедрения натрия и накопления его в металл электрода.

Формальные потенциалы редокс-превращений фуллеренов в твёрдой матрице определяются энергией взаимодействия анионов – продуктов восстановления фуллерена с катионами матрицы. Это

приводит к сдвигу формальных потенциалов процесса катодного допирования к менее отрицательным значениям. Введение донорного заместителя и усиления его донорной способности увеличивает энергию взаимодействия анионов фуллерена с катионами матрицы. Фуллереновые материалы обладают высокими сорбционными свойствами по отношению к различным веществам, растворенным в воде, в том числе к ионам металлов. Даже в микроколичествах (20 мкг/г) фуллерен, введённый в материал матрицы, вызывает повышение адсорбционной емкости по отношению к катионам металлов в 3-5 раз. При этом ионы  $\text{Ag}^+$  восстанавливаются до серебра, ионы  $\text{Pb}^{2+}$  сорбируются в результате донорно-акцепторного взаимодействия, а в случае ионов меди возможны восстановление металлического состояния и образование комплексов с различными лигандами. В отличие от эндоэдральных соединений фуллеренов со щелочными металлами соединения фуллеренов с переходными металлами (Co, Ni, Mo, W) являются экзоэдральными комплексами, в которых фуллерены выполняют роль лигандов [2, 3].

Разнообразие типов экзоэдральных комплексов фуллеренов с переходными металлами определяют такие структурные и электронные свойства фуллеренового лиганда, как полиэдрическое строение, стерическая объемность, наличие большого числа координационных мест и возможных типов координации атомов металлов, а также значительная электроноакцепторность.

Скорость процесса растёт с увеличением концентрации фуллерена от 0,0009 до 0,0018 моль/л. Далее при  $C = 0,0027$  моль/л падает. Это можно объяснить увеличением количества экзоэдральных комплексов фуллерена с молибдат-ионами и торможением процесса внедрения натрия. Таким образом, для обработки поверхности титана с целью формирования двухфазных фуллеренсодержащих молибдат-фосфатных слоев можно рекомендовать концентрацию фуллерена 0,0018 моль/л. Увеличение концентрации фуллерена приводит к заметному увеличению краевого угла смачивания, как в растворах на основе  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , так и смесей  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_3\text{PO}_4$ . Аналогично коэффициент трения и микротвёрдость образцов, обработанных в растворах смеси уксусной и фосфорной кислот, имеют наиболее высокие значения и увеличиваются с увеличением концентрации фуллерена в растворе.

Согласно данным оптической микроскопии, на поверхности титана образуются тонкие слои волокнистой структуры из кристаллов округлой формы. В растворах смеси уксусной и фосфорной кислот волокнистость структуры усиливается, увеличивается размер волокон (их диаметр и длина) полимерной структуры анионов  $\text{MoO}_4^{2-}$  и  $\text{PO}_4^{3-}$ .

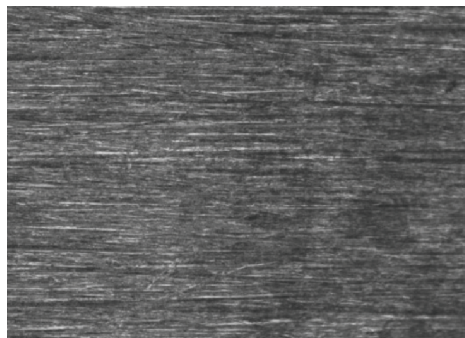
При использовании фосфорной и уксусной кислот и фуллерена на поверхности можно наблюдать дислокации и выступы в образовавшемся слое. При 1000× увеличении можно наблюдать образование гексагональных структур в осадке.

#### Исследование свойств модифицированной поверхности титана

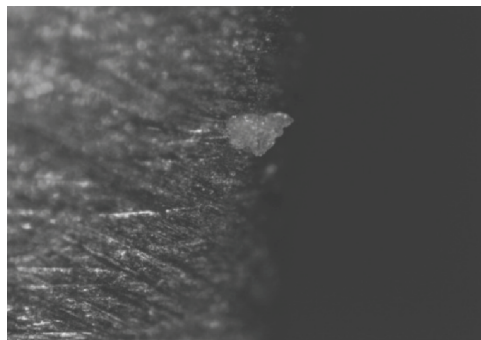
Состав раствора: $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ( $C=0,01$ моль/л)+ $\text{CH}_3\text{COOH}$ (1,6 моль/л)	Краевой угол смачивания $\theta$ , град.	Коэффициент трения, $\mu$	Микротвёрдость, Н, кг/мм <sup>2</sup>
$C_{60}$ ( $C=0,0009$ моль/л)	150	0,26	0,19
$C_{60}$ ( $C=0,0018$ моль/л)	152	0,46	0,22
$C_{60}$ ( $C=0,0027$ моль/л)	159	0,57	0,43
Состав раствора: $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ( $C=0,01$ моль/л)+ $\text{CH}_3\text{COOH}$ (1,6 моль/л)+ $\text{H}_3\text{PO}_4$	Краевой угол смачивания $\theta$ , град.	Коэффициент трения, $\mu$	Микротвёрдость, Н, кг/мм <sup>2</sup>
$C_{60}$ ( $C=0,0009$ моль/л)	157	0,36	0,25
$C_{60}$ ( $C=0,0018$ моль/л)	160	0,36	0,39
$C_{60}$ ( $C=0,0027$ моль/л)	165	0,46	0,48



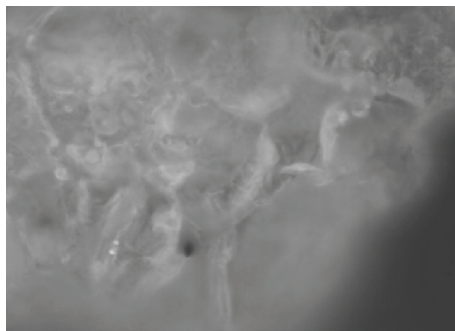
1



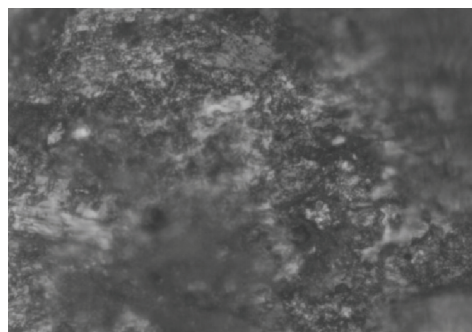
2



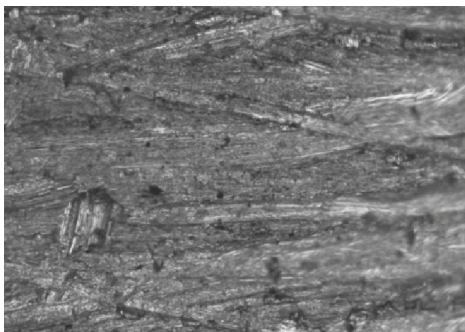
3



4



5



6

До (1) и после обработки титана при -2,7 В в течение 30 мин в растворах: 2 – 0,01М  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ;  
 3 – смеси его с 1,6 М  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ; со смесью 1,6 моль/л уксусной и 1 моль/л фосфорной кислоты;  
 4 – 0,0009 моль/л, 5 – 0,0018 моль/л, 6 – 0,0027 моль/л фуллерена, увеличение окуляров микроскопа – 1000х

### Вывод

Таким образом, сопоставляя данные по характеристикам с данными по электрохимическим измерениям, можно рекомендовать использовать растворы на основе молибдата натрия и смеси уксусной и фосфорной кислот с добавками фуллерена  $\text{C}_{60}$  для получения качественных плёночных структур двухфазной природы, включающих, помимо полимерных образований фуллерена  $\text{C}_{60}$ , волокна из двойных солей молибдат-фосфата титана (IV) и молибдена (W) в натриевой форме, которые могут найти применение при разработке материалов для источников энергии и информации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Электрохимия фуллеренов и их производных / В.В. Янилкин, В.П. Губская, В.И. Морозова, Н.В. Настапова, И.А. Нуретдинов и др. // Электрохимия. 2003. Т. 33. №11. С. 1285-1303.
2. Денисович Л.И. Электрохимические свойства комплексов переходных металлов с фуллереновыми лигандами  $\text{C}_{60}$  и  $\text{C}_{70}$  (обзор) / Л.И. Денисович, С.М. Перегудова, Ю.Н. Новиков // Электрохимия. 2010. Т. 46. №1. С. 3-20.
3. Сидоров Л.Н. Эндоэдральные металлопроизводные и экзоэдральные фторпроизводные фуллеренов / Л.Н. Сидоров, О.В. Болталиня // Успехи химии. 2002. Т. 71 (7). С. 611-638.
4. Смирнов Ю.В. Распределение катионов и межатомные взаимодействия в оксидах с гетеровалентным изоморфизмом / Ю.В. Смирнов, И.А. Зверева // ЖОХ. 2001. Т. 71. Вып. 6. С. 901-908.

**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 Electrochemical  
Manufacturing Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Гоц Александр Евгеньевич** –  
аспирант кафедры «Технология  
электрохимических производств» Энгельсского  
технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического  
университета имени Гагарина Ю.А.

**Alexander E. Gots** –  
Postgraduate  
Department of Electrochemical  
Manufacturing Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Маковецкая Юлия Петровна** –  
студент кафедры «Технология  
электрохимических производств» Энгельсского  
технологического института (филиала)  
Саратовского государственного технического  
университета имени Гагарина Ю.А.

**Yulia P. Makovetskaya** –  
Undergraduate  
Department of Electrochemical  
Manufacturing Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 678.026.3

**Е.Ю. Пошивалова, А.С. Астахов, М.С. Гавкина**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВ ЛАНТАНСОДЕРЖАЩИХ БИОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗДЕЛИЙ МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Исследованы характеристики микроструктуры поверхности лантансодержащих гидроксиапатитовых покрытий внутрикостных имплантатов, полученных плазменным напылением. Определены закономерности изменения параметров микро рельефа и химического состава покрытий в зависимости от дисперсности напыляемых порошков.*

Лантансодержащий гидроксиапатит, плазменное напыление, рельефность покрытия, морфологическая гетерогенность

**E.Yu. Poshivalova, M.S. Gavkina, A. S. Astakhov**

### **STUDY OF THE PROPERTIES OF LANTHANUM-CONTAINING BIO-COMPOSITE COATINGS OBTAINED ON MEDICAL AND TECHNICAL ITEMS**

*The article studies characteristics of surface microstructure of lanthanum containing hydroxyapatite coatings on plasma sprayed intrabone implants. Change regularities of microrelief parameters and chemical composition depending on sprayed powder dispersion are defined.*

Lanthanum containing hydroxyapatite, plasma spraying, coating relief, morphological heterogeneity

Актуальной проблемой современной имплантологии является борьба с отторжением имплантатов, вызванным периимплантитом, основной причиной которого является миграция бактерий в область, окружающую имплантат. Для предупреждения подобного осложнения целесообразно исполь-



зовать легирующие добавки, например лантана, в составе покрытия, который обладает антимикробными и антитромбоцитными свойствами [1]. Эти свойства, а также способность повышать фагоцитарную активность лейкоцитов крови, обусловлены наличием в электронных оболочках атомов лантаноидов f-электронов и генерированных ими магнитных микрополей. Применение лантаносодержащих препаратов, например, крем-гель «Биопокров» (ОАО «ПРОТЕК», г. Москва и др.), способствует заживлению повреждений кожи в 2...2,5 раза быстрее, чем при использовании традиционных антисептиков и мазей на водорастворимой основе.

Существует электрохимический метод катодного внедрения лантана в плазмонапыленное титан-гидроксиапатитовое покрытие в титановую основу, недостатком которого является необходимость устранения сопутствующих продуктов реакции и значительная длительность процесса [2].

Предполагается, что использование порошкового лантаносодержащего гидроксиапатита (ЛГА), с последующим нанесением его на поверхность внутрикостного имплантата плазменным напылением, значительно снизит время изготовления изделий. Замена порошка гидроксиапатита (ГА) на ЛГА в традиционной технологии нанесения покрытий повысит биосовместимые качества имплантатов, т.е. ускорит остеоинтеграцию (приживание), улучшит трофику границы «кость-имплантат» и снизит риск послеоперационных воспалительных осложнений.

Использование нового материала, порошка ЛГА, сопряжено с выявлением оптимальных режимов его обработки с получением заданных характеристик морфологической гетерогенности и химического состава покрытий, т.е. сохранением легирующей добавки в достаточном количестве для обеспечения терапевтического эффекта. Согласно имеющимся литературным данным, концентрация лантана в функциональных, в том числе, остеопластических, материалах должна находиться на уровне 1 % [3].

Порошок ЛГА полученный, на базе кафедры «Физическое материаловедение и технология новых материалов» путем перемешивания синтезированного порошка ГА и 0,02 % раствора  $\text{LaNO}_3$  с помощью электромагнитной мешалки. Полученная смесь подвергалась старению при комнатной температуре в течение 48 часов. Синтезированный осадок фильтровался на воронке Бюхнера, промывался дистиллированной водой, далее производились его сушка при температуре 200 °С в течение 6 часов и отжиг при 600 °С – 2 часа.

После механической обработки титановые заготовки промывались в растворе ПАВ в ванне ультразвуковой (УЗ) очистки ПСБ-2835-05. Использовались следующие параметры УЗ поля: интенсивность 10 Вт/см<sup>2</sup> и частота колебаний 22 кГц при длительности обработки 2 минуты. Пескоструйная очистка образцов осуществлялась на эжекционной установке «Чайка-20» при давлении воздуха 0,6 МПа, дисперсности частиц корундового абразива 200...500 мкм и продолжительности около 1 минуты на один образец. Ультразвуковое обезжиривание пластинчатых титановых образцов производилось в спирте при тех же параметрах УЗ поля при длительности обработки 1 минута.

Плазменное напыление порошка титана (для получения промежуточного пористого подслоя, повышающего прочность сцепления основного биоактивного слоя с титановой основой) и ЛГА проводилось на установке типа ВРЕС 744.3227.001 в камере с воздушной средой. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газа использовался аргон. Двухслойное покрытие внутрикостных имплантатов состоит из подслоя, полученного из порошкового материала марки ПТС (ТУ14-1-3086-80), и основного слоя ЛГА; подача порошков осуществлялась вихревым питателем для порошка ПТС и инжекционно-вибрационным питателем для ЛГА. Напыление проходило при стандартных режимах [5].

Экспериментальные исследования микроструктуры ГА покрытий проводились с использованием методов профилометрии (профилометр 107622), растровой электронной микроскопии (РЭМ) (электронный микроскоп MIRA II LMU, фирмы Tescan). Обработка изображений РЭМ произведена с помощью программно-аппаратного комплекса анализа геометрических параметров микрообъектов АГПМ-6М. Определялся средний размер (диаметр) структурных составляющих (в данном случае выступов), их дисперсия, а также поверхностная плотность выступов, представляющая собой количество элементов поверхности на площадке в 1 мм<sup>2</sup>. Анализ химического состава полученных покрытий осуществлен с помощью энергодисперсионного рентген-флуоресцентного анализа (ЭДРФА) (детектор INCA PentaFETx3, фирмы OXFORD Instruments).

При анализе параметров микрорельефа учитывались основные показатели шероховатости  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  и  $S_m$ , а также относительные показатели однородности  $R_z / R_{max}$  и рельефности  $R_{max} / S_m$  покрытий (таблица).

## Сравнительная характеристика шероховатости образцов

№ образца	Дисперсность порошка $\Delta$ , мкм	$Ra$ , мкм	$Rz$ , мкм	$Rmax$ , мкм	$Sm$ , мкм	$\frac{Rmax}{Sm}$	$\frac{Rz}{Rmax}$
1	70	4,56	24,5	26,67	81,10	0,33	0,92
2	80	4,14	18,40	29,30	81,73	0,36	0,63
3	90	4,18	20,83	35,57	86,40	0,41	0,59

Анализируя полученные результаты шероховатости, можно сделать вывод, что наилучшей дисперсностью порошка ЛГА является  $\Delta = 70$  мкм, поскольку в этом случае обеспечивается достаточная рельефность покрытия  $Rmax/Sm = 0,33$  и наибольшие показатели однородности рельефа  $Rz/Rmax = 0,92$ , а также  $Ra = 4,56$  мкм и  $Rz = 24,5$  мкм. У экспериментального образца № 1 фиксируется наименьшее количество единичных фрагментов из непроплавленных сплэтов, наличие которых приводит к значительному разбросу физико-механических свойств покрытий относительно средних показателей.

Одной из главных структурных характеристик биосовместимых покрытий является морфологическая гетерогенность, обусловленная специфическими условиями образования газотермических, в частности, плазменных покрытий. Ниже представлены изображения РЭМ морфологии покрытий ЛГА (рис. 1).

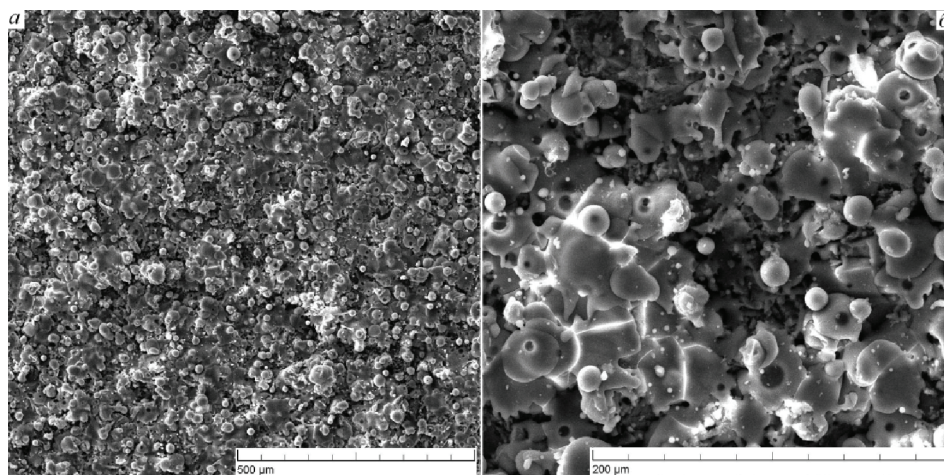


Рис. 1. РЭМ-морфологии ЛГА-покрытий: а –  $\times 264$ ; б –  $\times 1000$

Обработка данных РЭМ показала, что все образцы покрытий характеризуются высокими значениями морфологической гетерогенности, оцениваемой при расчете поверхностной плотности микровыступов покрытий, их среднего диаметра и дисперсии.

ЭДРФА показал, что исходный состав порошка ЛГА сохраняется. Характеристическое отношение  $Ca/P$  приближено к ГА, для которого оно составляет 1,67. Особый интерес также представляет дифференциальная оценка по изменению химического состава в отдельных сплэтах и их составляющих.

Анализ полученных данных химического состава показывает, что оплавленные сплэты характеризуются сохранением легирующей добавки лантана в количестве около 1 %, однако характеристическое отношение  $Ca/P$  может изменяться в широком диапазоне от 1,29 до 2,27.

Частицы порошка, подвергнутые диспергированию, характеризуются сниженной величиной  $Ca/P$ , равной 1,08...1,46, и полным отсутствием лантана в своем составе. Отсюда следует, что для обеспечения необходимого содержания лантана в биоактивном покрытии внутрикостных имплантатов необходимо минимизировать воздействие факторов, приводящих к диспергированию, одним из которых считается уменьшение дисперсности напыляемого порошка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пошивалова Е.Ю. Катодное внедрение лантана в плазмонанпыленные титан-гидроксиапатитовые покрытия внутрикостных имплантатов / Е.Ю. Пошивалова, А.В. Лясникова, Ю.В. Серянов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Спецвып. 2008. / ЮРГТУ (Новочеркасский политехнический институт). Новочеркасск, 2008. С. 66-71.

2. Пошивалова Е.Ю. Разработка комбинированной технологии электрохимического и электроплазменного формирования биоактивных композиционных покрытий: дис... канд. техн. наук: 02.00.05, 05.09.10 / Пошивалова Елена Юрьевна. Саратов, СГТУ, 2008. 209 с.

3. Пошивалова Е.Ю. Получение антитромбоцитных покрытий медицинского назначения за счет применения электрохимической и электроплазменной технологий/ Е.Ю. Пошивалова., В.Н. Лясников, О.А. Дударева // Медико-информационные технологии – 2009: сб. материалов XII Междунар. науч.-техн. конф., Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2009. С. 159-163.

**Пошивалова Елена Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Физическое материаловедение и технология новых материалов» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Elena Yu. Poshivalova** – Ph.D., Assistant of Professor Department of Materials Science and Technology of New Material Gagarin Saratov State Technical University

**Гавкина Марина Сергеевна** – ассистент кафедры «Физическое материаловедение и технология новых материалов» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Marina S. Gavkina** – Assistant Department of Materials Science and Technology of New Material Gagarin Saratov State Technical University

**Астахов Александр Сергеевич** – магистрант направления «Материаловедение и технологии материалов» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Aleksandr S. Astakhov** – master of 1 course of direction Department of Materials Science and Technology of New Material Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 541.138:541.452:621.357.2

**А.И. Финаенов, И.Е. Шпак, А. В. Афолина, С.Л. Забудьков, А.В. Яковлев**

## **ТЕРМОРАСШИРЕННЫЙ ГРАФИТ В ЭЛЕКТРОДАХ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА**

*Проанализированы функциональные возможности использования терморасширенного графита (ТРГ) в электродах химических источников тока. Экспериментально показано, что применение ТРГ в качестве связующего в составе инертного катода резервного элемента и диоксидмарганцевого электрода литиевого источника тока повышает их разрядные характеристики.*

Терморасширенный графит, электроды, электропроводная добавка, связующее, водные и неводные электролиты

**A.I. Finaenov, I.E. Schpak, A.W. Afonina, S.L. Zabudkov, A.V. Yakovlev**

## **GRAPHITE ELECTRODES IN THERMO CHEMICAL POWER SOURCES**

*The functional characteristics of the thermoexpanded graphite (TRG) in the electrodes from chemical sources of the current are analysed. Experiments have shown that TRG application as a reserve element binding as a part of the inert cathode and the dioxide permanganic electrode from the lithium source of the current raises their rate characteristics.*

Thermoexpanded graphite, electrodes, electrowire additive, binding, water and not water electrolits

В электродах химических источников тока (ХИТ) традиционно широко используются углеродные материалы. В основном это дисперсные природные графиты, технический углерод, углеродные волокна и войлоки, активированные угли [1-3]. Углеродные материалы применяются практиче-

ски во всех ХИТ: элементах и аккумуляторах, топливных элементах, электрохимических конденсаторах. Функционально они используются в качестве электропроводных добавок, для изготовления инертных электродов, являются катализаторами или носителями катализатора, позволяют регулировать смачиваемость и пористость, в ряде случаев могут быть активными реагентами или матрицей для реагентов.

Относительно новым углеродным материалом является терморасширенный графит (ТРГ), представляющий собой чисто углеродные пеноструктуры (рис. 1). ТРГ получают термическим расщеплением соединений внедрения графита (СВГ). В общем виде основные стадии получения ТРГ представлены схемой, приведенной на рис. 2.

На примере бисульфата графита СВГ синтезированного по электрохимической реакции:



где  $n=1, 2, 3, \dots$ , можно видеть, что степень заполнения графитовой матрицы зависит от пропущенного количества электричества ( $Q_{уд}$ ). При  $n = 1$  межслоевые пространства графитовой решетки заполнены максимально (1 степень СВГ). При последующем гидролизе бисульфат графита переходит в окисленный графит или остаточное СВГ:



Идеализированная реакция (2) не отображает реальных процессов, так как гидролизованный и высушенный бисульфат графита в своем составе содержит до 3-5% серосодержащих соединений [4]. По современным представлениям переход СВГ в ТРГ при быстром нагреве осуществляется по принципу «межмолекулярного взрыва» за счет фазового перехода межслоевых соединений. В случае бисульфата графита вспенивающими агентами являются пары и газы:  $H_2O$ ,  $H_2SO_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$  и  $SO_3$ , образующиеся при термолитизе [2]. При расширении происходит расщепление кристаллитов графита вдоль оси «С» на тонкие пачки ленты из небольшого числа графенов (от 5-6 до 15-20) с одновременной их деформацией, в результате чего образуется объемная складчатая структура (рис. 1).

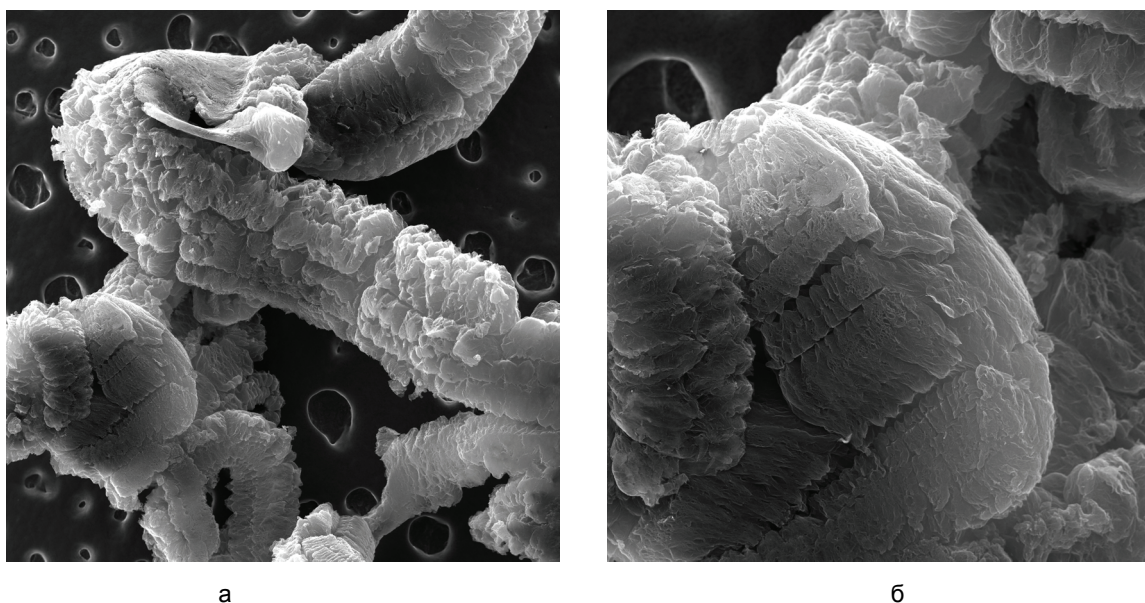


Рис. 1. Микроструктура высокорасщепленного терморасширенного графита:  
а – увеличение 113×, б – увеличение 333×

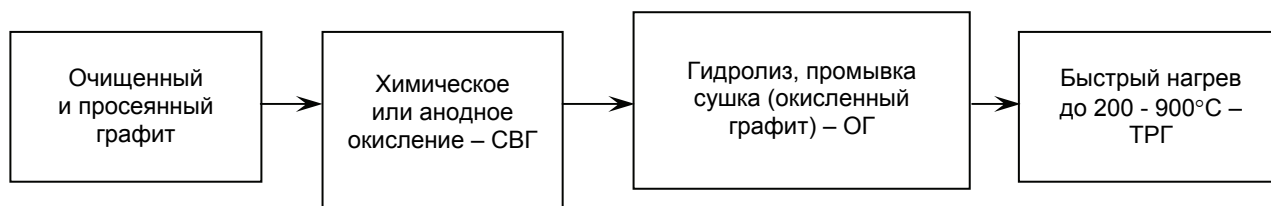


Рис. 2. Основные стадии получения ТРГ

Варьируя гранулометрический состав исходного графита, степень заполнения графитовой матрицы, режим термообработки, возможно в широких пределах менять свойства получаемого ТРГ [5]. Основной

характеристикой терморасширенного графита является насыпная плотность ( $d_{\text{ТРГ}}$ ), которая для лучших образцов составляет 1-10 г/дм<sup>3</sup>. На основе бисульфата графита, анодно синтезированного с сообщением  $Q_{\text{уд}} \geq 100$  мА·ч/г графита, получают ТРГ с  $d_{\text{ТРГ}} = 1 - 2$  г/дм<sup>3</sup>. Снижение концентрации H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> до 80–60 % при анодной обработке графита с увеличением  $Q_{\text{уд}} > 300$  мА·ч/г позволяет снизить температуру терморасширения до 250 °С и увеличить удельную поверхность ТРГ до 100-120 м<sup>2</sup>/г [5]. Электропроводность компактного (спрессованного) терморасширенного графита также возможно изменять в достаточно широких пределах (1,0 – 0,1 Ом·м [6, 7]). Это достигается не только степенью уплотнения материала, но и размером частиц графита и числом графенов в пачках ТРГ. Для повышения электропроводности анодный синтез СВГ необходимо вести при пониженных  $Q_{\text{уд}}$ , чтобы графитовая матрица заполнялась не полностью, обеспечивая сохранение планарности большего количества полиареновых слоев с высокой электронной проводимостью. Как следует из приведенных данных, свойства ТРГ можно регулировать под определенные функции в широких пределах за счет управляемого электрохимического синтеза СВГ и подбора режима их термообработки. Наряду с этим, учитывая, что ТРГ обладает, как и графит, высокой химической инертностью, термостабильностью, а также возможностью прессоваться в изделия без полимерного связующего, его применение в электродах ХИТ, несомненно, актуально.

В периодике имеется ряд сообщений об использовании расширенного графита в электродах ХИТ. Так, в публикациях [8-10] ТРГ предлагается использовать в составе электродов в качестве электропроводной и структурирующей добавки. По данным авторов [11, 12], целесообразно применение пенографита в составе композиционного литий-углеродного анода. Согласно [13], фторирование ТРГ приводит к образованию фторуглеродов с повышенной электрохимической активностью. Пористые проточные электроды из самопрессованного ТРГ, потенциально пригодные для топливных элементов, декларируются в [14, 15]. Также для топливных элементов предлагается использование гидрофобизированного электрода из ТРГ для электровосстановления кислорода [16]. Известно применение газодиффузионной мембраны из ТРГ в топливных элементах, одновременно выполняющей функции тококоллектора и носителя катализатора [17]. Фторирование гидролизованых СВГ и ТРГ, согласно [13], приводит к образованию фторуглеродов с повышенной электрохимической активностью и с успехом может использоваться взамен традиционно применяемым.

В настоящем сообщении приводятся результаты применения ТРГ в ХИТ, в которых используется способность материала образовывать при прессовании углеродные компакты без введения дополнительно связующего.

Тонкая графитовая фольга (таблица) была использована в качестве катода в системе Al/HNO<sub>3</sub>, HCl/C, где катодным реагентом является азотная кислота, а соляная – выполняет функции активатора алюминиевого анода [18]. Традиционно углеродсодержащие слои инертного катода наносят на металлическую подложку по намазной технологии с применением полимерного связующего [19]. Применение компакта из ТРГ даже без дополнительного металлического тококоллектора, согласно поляризационным кривым (рис. 3), значительно расширяет диапазон возможных разрядных токов резервного элемента. Превышение потенциалов на плёнке по сравнению с фольгой на начальных участках кривых обусловлено наличием в составе углеродсодержащего слоя ацетиленовой сажи, обладающей более высокой гидрофильностью, чем графит.

Свойства графитовой фольги, полученной на основе анодно синтезированного бисульфата графита ( $d_{\text{ТРГ}} = 2,2$  г/дм<sup>3</sup>)

Толщина фольги, мм	0,18±0,03
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,92±0,1
Содержание углерода, %	99,5
Прочность на растяжение, МПа	5,3±0,1
Электропроводность вдоль листа, Ом <sup>-1</sup> ·м <sup>-1</sup> ·10 <sup>5</sup>	0,54±0,01

Повышенный наклон кривых E – i для графита (рис. 3) в интервале токов до 60 – 80 мА/см<sup>2</sup> вызван отсутствием дополнительного токоотвода и достаточно низкой проводимостью фольги (таблица). Значительное увеличение разрядных токов на фольге объясняется большой истинной поверхностью электрода, участвующего в электрохимическом процессе из-за отсутствия полимерного связующего и, соответственно, экранирующего эффекта углеродных частиц. Выявленные недостатки применения фольги в качестве инертного электрода с сохранением высоких разрядных токов возможно реализовать при изготовлении биполярных электродов. Для этого на графитовую фольгу толщиной 0,10-0,15 мм (при меньших толщинах теряется механическая прочность) требуется напылить слой стали (5-6 мкм), который будет выполнять функции тококоллектора и одновременно обеспечи-

вать механическую прочность. Анодный слой формируется также напылительной технологией в виде плёнки алюминия толщиной 10–20 мкм. Наряду с повышением разрядных токов до 150–200 мА/см<sup>2</sup> подобные биполярные электроды обеспечат снижение массы на 50–60 % по сравнению с традиционными намазными на стальной основе.

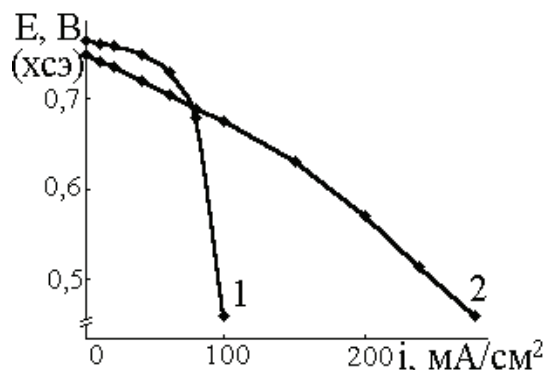


Рис. 3. Гальваностатические поляризационные кривые восстановления  $\text{HNO}_3$  (9M  $\text{HNO}_3$  + 2,5 M  $\text{HCl}$ ) на углеродсодержащей полимерной пленке и графитовой фольге (2)

Замена полимерного связующего на ТРГ возможна и в прессованных электродах ХИТ. В этом случае ТРГ может дополнительно выполнять функции электропроводной добавки, порообразователя, регулятора смачиваемости поверхности (объема) электрода. Для подтверждения выдвинутых предположений был использован промышленно выпускаемый элемент, в котором в качестве анода применялся металлический литий, электролитом служил раствор  $\text{LiClO}_4$  в смеси пропилен карбоната и диметооксиэтана, а катод прессовался из смеси  $\text{MnO}_2$  (90%), ацетиленовой сажи (5%) и фторопластового связующего (ФИД-5%) на металлическую сетку. При замене связующего на ТРГ (состав:  $\text{MnO}_2$  – 90%, ТРГ – 7%, сажа – 3%) также прессованием удастся получить механически прочные, пригодные для последующих технологических операций электроды.

Расширенный графит имел насыпную плотность 4 г/дм<sup>3</sup> и был получен на основе электрохимически синтезированного бисульфата графита. Выбор плотности обусловлен компромиссом между прессуемостью ТРГ, которая повышается при снижении  $d_{\text{ТРГ}}$ , и электропроводностью, повышающейся с повышением  $d_{\text{ТРГ}}$ . Введение 3% ацетиленовой сажи необходимо для увеличения электропроводности и повышения неоднородности структуры электрода для проникновения электролита в его объем. При сборке макетов источника тока литиевый анод закладывался в избытке по емкости, чтобы разрядные характеристики были лимитированы работой катода.

Сравнение работоспособности макетов элементов оценивалось по вольтамперным характеристикам (ВАХ), которые снимались по мере разряда источника тока (рис. 4). Согласно ВАХ макеты с катодом на основе ТРГ перед разрядом имеют несколько меньшее напряжение, при разряде макетов на 40%, напряжение элементов сопоставимо, при дальнейшем разряде напряжение элементов с ТРГ уже превышает напряжение источников тока, изготовленных с фторопластовым связующим. Такие изменения в ВАХ, вероятно, объясняются тем, что до разряда катоды с ТРГ имеют меньшую рабочую поверхность. Повышенная истинная площадь электродов, изготовленных по промышленной технологии, вызвана наличием пор, возникающих при испарении растворителя связующего и наличием микротрещин, образующихся при последующей термообработке катодов [10]. По мере разряда катодов по реакции [3]:



За счет внедрения катионов лития происходит разбухание электродов, оба катода работают практически всем объемом, при этом их характеристики сопоставимы. Разряд макетов до 50% и выше (рис. 4) показывает, что повышенное содержание электропроводной добавки в катодах с ТРГ обеспечивает более высокое напряжение. Отсутствие экранирующего эффекта полимерного связующего дает и более высокие значения коэффициента использования  $\text{MnO}_2$ , для катодов с ТРГ – это 85÷87%, для электродов с фторопластом – 80÷82%. Выполненные экспериментальные исследования показали принципиальную возможность замены в составе диоксидмарганцевого катода полимерного связующего на терморасширенный графит. При этом разрядные характеристики электрода не ухудшаются, а технология изготовления значительно упрощается: сокращается количество технологических операций, применяется «сухой» метод прессования, возрастает экологическая безопасность.

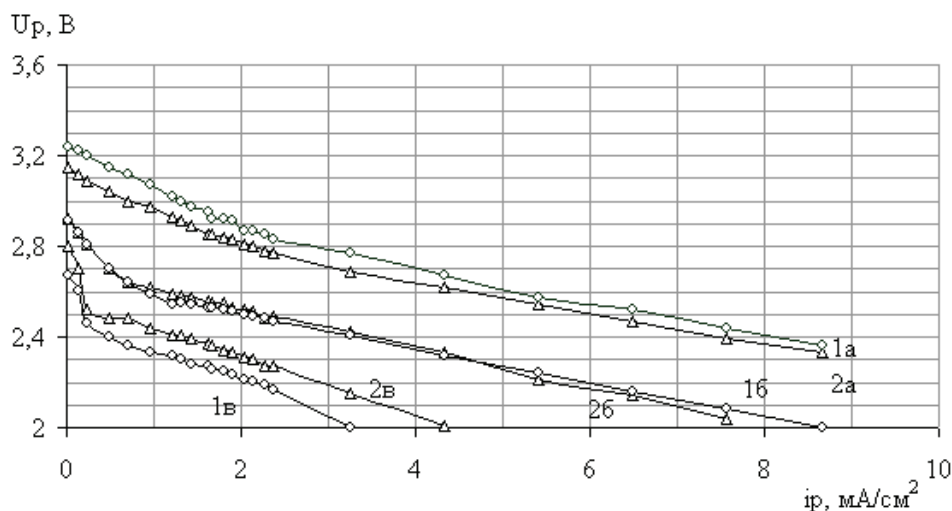


Рис. 4. Вольтамперные характеристики зависимости ячеек системы Li/MnO<sub>2</sub> с составом катода, %: MnO<sub>2</sub> – 90, П-267Э – 5, фторопласта Ф-4Д – 5 (1); MnO<sub>2</sub> – 90, П-267Э – 3, ТРГ – 7 (2) до разряда (а) и после снятия 30 (б) и 60 % (в) емкости

Приведенные примеры использования ТРГ в составе электрода для различных систем ХИТ в качестве связующего вместо полимерных растворов и одновременно токопроводящего компонента показывают эффективность такого решения для разработки новых технологий изготовления химических источников тока.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасевич М.Р. Электрохимия углеродных материалов / М.Р. Тарасевич. М.: Наука, 1984. 253 с.
2. Фиалков А.С. Углерод. Межслоевые соединения и композиты на его основе / А.С. Фиалков. М.: Аспект Пресс, 1997. 718 с.
3. Фиалков А.С. Углерод в химических источниках тока / А.С. Фиалков // Электрохимия. 2000. Т. 36. № 4. С. 389-413.
4. Ярошенко А.П. Высококачественные вспучивающиеся соединения интеркалирования графита новые подходы к химии и технологии / А.П. Ярошенко, М.В. Савоськин // Журнал прикладной химии. 1995. Т. 68. № 8. С. 1302-1306.
5. Кольченко А.С. Электрохимическое получение теморасширяющихся соединений графита для углеродсодержащих композитов / А.И. Финаенов, А.С. Кольченко, С.Л. Забудьков // Вестник СГТУ. 2011. № 2 (53). Вып. 1. С. 40-46.
6. А.с. 1515202 СССР, МКИ Н 01 В 1/04 Способ получения токопроводящего материала / Брандт Б.В. и др. (СССР). №4304718/24-07; Оpubл. 15.10.89, Бюл. №38. 217 с.
7. Пат. 2038337 РФ, МКИ С 04 В 35/52. Гибкая графитовая фольга и способ ее получения. В.В. Авдеев, И.В. Никольская, Л.А. Молякина и др. Оpubл. 27.06.95.
8. Preparation of alkali – metal graphite – intercalation compounds in organic solvents / Y. Mizutani, E. Jhara, T. Abe, M. Asano, T. Harada, Z. Ogumi, M. Jnada // J. Phys. and Chem. Solids, 1996. Vol. 57. № 6-8. P. 799-803.
9. Барсуков В.З. Термографенит – эффективная электропроводная и каталитически активная добавка в химических источниках тока / В.З. Барсуков и [др.] // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология: материалы 1 Междунар. конф. Москва, 17–19 октября 2002. М.: Ратмир-Вест, 2002. С. 55.
10. Куренкова М.Ю. Фторуглеродные катоды для литиевых элементов / М.Ю. Куренкова // Химия и химическая технология. 2005. Т. 48. № 9. С. 19-22.
11. Чуриков А.В. Разработка углеродного материала для отрицательного электрода литий-ионного аккумулятора / А.В. Чуриков [и др.] // Электрохимическая энергетика. 2001. Т. 1. № 3. С. 9-16.
12. Чуриков А.В. Электроды на основе терморасширенного графита / А.В. Чуриков [и др.] // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология: матер. 1 Междунар. конф. Москва, 17-19 октября 2002. М.: Ратмир-Вест. 2002. С. 207.

13. Nakajima T. Discharge characteristics of graphite fluoride prepared via graphite intercalation compound with covalent bond / T. Nakajima, R. Hagiwara, K. Moriga // J. Electrochem. Soc. 1985. Vol. 132. № 8. P. 342.

14. Упрочнение самопрессованного расширенного графита пироуглеродом / Р.Г. Аварбэ, О.П. Карпов, Л.М. Кондрашева и [др.] // Журнал прикладной химии. 1996. Т. 69. № 12. С. 2068-2070.

15. Особенности поровой структуры и некоторые свойства самопрессованного расширенного графита / Р.Г. Аварбэ, О.П. Карпов, Л.М. Кондрашева и др. // Журнал прикладной химии. 1996. Т. 69. № 12. С. 2065-2067.

16. Колягин Г.А. Электрическая проводимость гидрофобизированных электродов из термо-расширенного графита и их активность при электровосстановлении кислорода / Г.А. Колягин [и др.] // Журнал прикладной химии. 2005. Т. 78. № 10. С. 1653-1658.

17. Добровольский Ю.А. Материалы для биполярных пластин топливных элементов на основе протонопроводящих мембран / Ю.А. Добровольский [и др.] // Российский химический журнал. 2006. Т. 5. № 6. С. 83-94.

18. Финаенов А.И. Исследование системы Al/HNO<sub>3</sub>, HCl/C при отрицательных температурах / А.И. Финаенов, С.С. Попова // Журнал прикладной химии. 1990. Т. 3. № 11. С. 2567-2570.

19. Финаенов А.И. Влияние состава углеродсодержащей полимерной плёнки на разрядные характеристики резервного источника тока / А.И. Финаенов [и др.] // Химические источники тока. Саратов: СГУ, 1982. В. 8. С. 115-120.

**Финаенов Александр Иванович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Alexandr I. Finaenov** – Dr. Sc., Professor  
Department of Electrochemical Manufacturing Technology  
Engels Institute of Technology  
(Part) Gagarin Saratov State Technical University

**Шпак Игорь Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института измерительной аппаратуры

**Igor E. Shpak** – Dr. Sc., Professor  
Leading Researcher  
Central Science & Research Institute of Measurement Appliances

**Афоница Анна Владимировна** – аспирант кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Anna V. Afonina** – Postgraduate  
Department of Electrochemical Manufacturing Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Забудков Сергей Леонидович** – кандидат химических наук, доцент кафедры «Технология электрохимических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergey L. Zabudkov** – Ph. D., Associate Professor  
Department of Electrochemical Manufacturing Technology  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Яковлев Андрей Васильевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физическая и органическая химия» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Andrej V. Yakovlev** – Dr. Sc., Professor  
Head: Department of Physical and Organic Chemistry  
Engels Institute of Technology  
Part of Gagarin Saratov State Technical University



УДК 678.5/6:677.4:538.12

**И.В. Черемухина, В.Н. Студенцов, М.О. Ибаев, А.А. Гильман****ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК  
В ТЕХНОЛОГИИ НАПОЛНЕННЫХ РЕАКТОПЛАСТОВ***Проанализировано влияние ультрафиолетового излучения, постоянного электрического поля и вибрации на кинетику отверждения армированной эпоксидной смолы, на свойства получаемых полимерных композиционных материалов.*

Ультрафиолетовое излучение, постоянное электрическое поле, вибрации, отверждение, армированная эпоксидная смола

**I.V. Cheremoukhina, V.N. Stoudentsov, M.O. Ibaev, A.A. Gilman****PHYSICAL TREATMENT APPLICATION FOR THE REINFORCED CROSS-LINKED  
POLYMERS TECHNOLOGY***The impact of ultraviolet emission, constant electric field and vibration on the kinetics of hardening of epoxy resin, reinforced by fibers, on the properties of the polymer composites is analyzed.*

Ultraviolet radiation, a constant electric field, vibration, curing, reinforced epoxy resin

Армированные полимерные композиционные материалы (АПКМ) обладают целым рядом преимуществ перед всеми другими материалами. АПКМ имеют самый низкий коэффициент линейного термического расширения, и в результате термические напряжения в деталях из этих полимеров в 10-20 раз меньше, чем в деталях из других материалов. По удельной прочности АПКМ в 2-4 раза превосходят металлы. По показателям плотности, модулю упругости, кратковременной прочности при растяжении сжатии, усталости, демпфирующей способности и коррозионной стойкости полимерные композиционные материалы (ПКМ) в диапазоне температур до 250 °С превосходят алюминиевые сплавы, титановые сплавы и стали. ПКМ обладают высокими тепло- и электроизоляционными свойствами. Однако ПКМ присущ и ряд недостатков, таких как относительно невысокая стойкость к воздействию ударных нагрузок, низкая прочность в направлении, перпендикулярном плоскости укладки армирующих слоев, недостаточная стабильность физико-механических характеристик при длительном действии высоких температур и некоторых других эксплуатационных факторов [1].

Некоторые из недостатков ПКМ частично могут быть устранены путем модификации полимерных связующих. Модификация заключается в целенаправленном регулировании структуры и связанных с ней свойств полимера на различных этапах технологического процесса.

Применение различных физических воздействий (вибрация, ультрафиолетовое излучение, постоянные электрические и магнитные поля) является экономичным и высокоэффективным направлением физической модификации с целью регулирования и улучшения характеристик армированных реактопластов [2].

При получении образцов полимерных композиционных материалов (ПКМ) в качестве связующего использовали эпоксидиановую смолу ЭД-20 (ГОСТ 10587-93), отверждаемую полиэтиленполиамином (ПЭПА, ТУ 6-02-594-85), а в качестве армирующих наполнителей – полиакрилонитрильный жгут (нитрон, ТУ 13-239-79), поликапроамидную техническую нить (капрон) и вискозную техническую нить (ВН), базальтовую нить (БН), стеклянную нить (СН).

В опытах контролировали линейную плотность, г/м, исходных и пропитанных нитей и степень превращения X, массовые проценты, исходного олигомерного связующего в нерастворимый сетчатый продукт. Величину X определяли методом экстракции золя ацетоном при комнатной температуре. Для сформованных из полученных препрегов материалов по стандартным методикам определяли следующие физико-механические характеристики:

- разрушающее напряжение при статическом изгибе, МПа, –  $\sigma_{и}$  (ГОСТ 4648-93);
- разрушающее напряжение при растяжении, МПа –  $\sigma_{р}$ , (ГОСТ 11262-80) соответственно;
- модуль упругости при статическом изгибе, МПа –  $E_{и}$ ;

- ударная вязкость,  $\text{кДж/м}^2$  –  $\alpha_{\text{уд}}$  (ГОСТ 4647-80);
- твердость по Бринеллю, МПа –  $H_B$  (ГОСТ 4670-77);
- суточное водопоглощение, % –  $W$  (ГОСТ 4650-80);
- плотность,  $\text{кг/м}^3$  –  $\rho$  (ГОСТ 15139-81).

Физическую модификацию осуществляли либо путём физической обработки на стадии пропитки армирующей нити связующим (при использовании вибрации), либо в виде кратковременного физического воздействия на свежeproпитанную связующим нить (при использовании постоянного электрического поля (ПЭП) или ультрафиолетового излучения (УФИ)) с последующим отверждением в традиционных условиях.

Все способы физической модификации в данной работе разделены на ориентирующие и энергетически подпитывающие воздействия. К первой группе физических обработок относятся обработки при постоянных магнитных полях (ПМП), в постоянных электрических полях (ПЭП), при постоянных механических нагрузках. Во второй группе энергетически подпитывающие воздействия имеют волновую природу, и к ним отнесены вибрационные, ультразвуковые воздействия, ультрафиолетовое излучение.

При отверждении термореактивных смол конкурируют процессы линейного роста полимерных цепей и их сшивания.

При линейном росте полимерных цепей в углеводородных полимерах преобладают вторичные атомы углерода, а в результате сшивания образуются третичные атомы углерода. Известно, что связи С-С при вторичных атомах углерода более прочны, чем связи С-С при третичных атомах углерода. Следовательно, при протекании реакции сшивания выделяется меньше теплоты, чем при протекании реакции линейного роста цепей.

Ориентирующие воздействия снижают подвижность молекул связующего, то есть такие воздействия эквивалентны понижению температуры, что приводит к преимущественному ускорению процесса сшивания, в результате чего увеличиваются модуль упругости, разрушающие напряжения.

Согласно изложенной теории, обработка ПМП, ПЭП приводит к преимущественному ускорению процесса сшивания, поскольку процессы с меньшими энергиями активации наиболее чувствительны к понижению температуры.

Воздействия второго типа – энергетически подпитывающие, повышают подвижность молекул связующего, такие воздействия эквивалентны повышению температуры. В этом случае происходит преимущественное ускорение линейного роста цепей, что сопровождается преимущественным увеличением ударной вязкости.

Таблица 1

Влияние различных способов магнитной обработки  
на физико-механические характеристики материалов с нитроном

Способ получения	Напряженность Н, Э	$\sigma_{\text{и}}$ , МПа	$\Delta\sigma_{\text{и}}$ , %	$\alpha_{\text{уд}}$ , $\text{кДж/м}^2$	$\Delta\alpha_{\text{уд}}$ , %	$\sigma_{\text{р}}$ , МПа	$\Delta\sigma_{\text{р}}$ , %	$H_B$ , МПа	$\Delta H$ , %	$W$ , %	$\Delta W$ , %	$X$ , %
СМЕС	0	49	–	118	–	69	–	111	–	2,7	–	96
СМЕС+МО	$\frac{8000}{400}$	$\frac{117}{70}$	$\frac{139}{43}$	$\frac{144}{126}$	$\frac{22}{7}$	$\frac{103}{91}$	$\frac{49}{32}$	$\frac{148}{125}$	$\frac{33}{13}$	$\frac{1,3}{2,0}$	$\frac{107}{35}$	$\frac{97}{97}$
СНК	0	79	–	103	–	74	–	136	–	2,7	–	97
СНК+МО	$\frac{8000}{400}$	$\frac{113}{93}$	$\frac{68}{18}$	$\frac{130}{111}$	$\frac{26}{8}$	$\frac{105}{93}$	$\frac{42}{26}$	$\frac{151}{139}$	$\frac{11}{2}$	$\frac{0,9}{1,9}$	$\frac{200}{42}$	$\frac{99}{98}$

\*При расположении армирующих нитей перпендикулярно (числитель) и параллельно (знаменатель) магнитным силовым линиям.

Ориентация нитей перпендикулярно магнитным силовым линиям приводит к увеличению средней массы межзловых цепей связующего и преимущественному увеличению ударной прочности по сравнению с ПКМ, полученными с расположением армирующих нитей параллельно силовым линиям магнитного поля, что подтверждается экспериментальными данными (табл. 1).

Обработка препрега в ПЭП оказывает ориентирующее влияние на структуру связующего, эквивалентное понижению температуры отверждения. Такое воздействие способствует относительному ускорению того из двух конкурирующих процессов, которые требуют более низкой энергии активации. При отверждении более высокой энергии активации требует процесс линейного роста полимер-

ных цепей, который сопровождается образованием редко сшитой сетчатой структуры. Следовательно, обработка в ПЭП должна приводить к преимущественному увеличению разрушающих напряжений при снижении удельной ударной вязкости. Такое заключение полностью справедливо для ненаполненных реактопластов.

Анализ свойств армированных реактопластов показал, что обработка в ПЭП приводит не только к повышению разрушающих напряжений, но и к улучшению других прочностных характеристик ПКМ:  $\alpha_{уд}$ ,  $\sigma_p$ ,  $H_v$ ,  $\sigma_{сдв}$ . Наблюдаемые эффекты свидетельствуют о том, что ПЭП не только влияет на структуру матрицы, но и способствует усилению адгезии между связующим и наполнителем.

При рассмотрении воздействий второго типа на полимер следует выделять три фактора: механический, тепловой и физико-химический, действие которых тесно взаимосвязаны.

Механический фактор обусловлен переменным акустическим давлением вследствие чередования зон сжатия и разрежения материала и проявляется в вибрационном «залечивании» дефектов полимерной матрицы на макромолекулярном «микро-» и надмолекулярном «мезоуровнях». Механический фактор ультразвукового воздействия приводит к снижению средневесовой молекулярной массы и процессам массопереноса фрагментов макромолекул из одной модификации в другую.

Тепловой фактор обусловлен трансформацией поглощённой механической энергии ультразвуковых волн в тепло. Повышение температуры обрабатываемого материала приводит к повышению скорости релаксационных процессов, снижению внутренних напряжений, увеличению молекулярной подвижности и более интенсивному развитию пластической деформации, снижению необходимого давления формования.

Физико-химический фактор проявляется в изменении физико-химических, молекулярно-релаксационных и молекулярно-топологических процессов и характеристик структуры аморфно-кристаллического полимера. Ультразвук становится своеобразным катализатором этих процессов и количественных изменений характеристик структуры, в результате – повышение подвижности структуры и связанные с этими процессами увеличение степени кристалличности, залечивание дефектных областей полимера [3].

Распространение УЗ в полимерах зависит от плотности, структуры, однородности, вязкости и сжимаемости полимера, которые определяют проникающую способность ультразвука [4].

Таблица 2

Взаимосвязь между увеличением интенсивности колебаний и увеличением прочностных характеристик ПКМ

Способ получения	Защитный полимер	Наполнитель	Кратность относительного увеличения $\sigma_{и}$	Кратность относительного увеличения $\alpha_{уд}$	Изменение частоты	Кратность увеличения интенсивности
СНК	БУСТ	Нитрон	5,0	4,5	33→60	9,2
СНК	БУСТ	Нитрон	2,0	1,6	66→100	5,4
СНК	КМЦ	Нитрон	5,0	7,1	33→66	9,2
СНК	КМЦ	Нитрон	2,0	1,3	66→100	5,4
СНК	КМЦ	ВН	2,0	2,0	33→60	9,2
СНК	КМЦ	ВН	1,4	1,8	66→100	5,4
СНК	БУСТ	ВН	1,4	1,8	33→66	9,2
СНК	БУСТ	ВН	1,4	1,2	66→100	5,4

Результаты показали, что ВО оказывает двойственное влияние на свойства получаемых материалов. С одной стороны, она ускоряет проникновение связующего в пропитываемые нити, что положительно сказывается на свойствах ПКМ. С другой стороны, она нарушает компактность нити и этим может отрицательно влиять на характеристики получаемых материалов. Суммарный эффект зависит от преобладания того или иного влияния. При увеличении частоты вибрационной обработки от 0 до 100 Гц, значения  $\sigma_{и}$  и  $\alpha_{уд}$  возрастают на 10-70 % для материалов с вязкой нитью и нитроном.

При увеличении прочностных характеристик с ростом частоты вибрационной обработки кратность увеличения относительного упрочнения отстает от кратности увеличения интенсивности, хотя в интервале 33-60 Гц упрочнение сильнее, чем в интервале 60-100 Гц (табл. 2). Кратность увеличения  $\alpha_{уд}$  выше, чем кратность увеличения  $\sigma_{и}$ .

Это можно объяснить увеличением бесполезных потерь энергии колебаний при увеличении частоты колебаний.

Таблица 3

Сравнение физико-механических характеристик стандартных образцов ПКМ и стандартных образцов материала в изделии при модификации с применением УФИ

Вид воздействия	Образец	Наполнитель	Кол. нитей	$\sigma_{и.}$ , МПа	$\Delta\sigma_{и.}$ , %	$E_{и.}$ , МПа	$\Delta E_{и.}$ , %	$\alpha_{уд.}$ , кДж/м <sup>2</sup>	$\Delta\alpha_{уд.}$ , %	$\sigma_p$ , МПа	$E_p$ , МПа	W, %	H <sub>б</sub> , МПа	$\Delta H_b$ , %	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Терм.+УФИ	ПА	ПАН	40	92	13	1629	4	63	28	52	735	0,2	105	19	1116
		ВН	120	167	34	1803	25	95	25	126	1725	0,9	192	13	1218
Терм.+УФИ	Образцы ПКМ	ПАН	40	85	12	1584	5	50	46	-	-	0,3	99	17	1093
		ВН	120	159	35	1750	27	82	21	-	-	1	180	16	1167
Терм. без УФИ	ПА	ПАН	40	80	-	1563	-	45	-	43	690	0,6	85	-	1116
		ВН	120	110	-	1338	-	71	-	105	1265	2,1	167	-	1218
Терм. без УФИ	Образцы ПКМ	ПАН	40	74	-	1511	-	27	-	-	-	0,8	82	-	1093
		ВН	120	103	-	1264	-	64	-	-	-	2,3	151	-	1167

Примечание: ПА – полимерная арматура;  $\Delta$  – разница между соответствующими физико-механическими характеристиками ПКМ и ПА, подвергнутых УФИ, выраженная в процентах

Предварительная обработка препрегов УФИ влияет на скорость последующего отверждения более сложным образом, чем обработка в ПЭП. Во-первых, для достижения заметного влияния на скорость отверждения требуется более длительная обработка, чем обработка в ПЭП. Во-вторых, характер влияния УФИ на скорость последующего отверждения зависит от природы используемого волокнистого наполнителя. При использовании для армирования эпоксидной смолы технического полиакрилонитрильного жгутика (ТПАНЖ) предварительно облученный УФИ препрег всегда отверждается быстрее независимо от продолжительности облучения, чем не облученный препрег. При армировании вискозной технической нитью (ВН) кратковременные обработки УФИ приводят к замедлению последующего отверждения, а более длительное облучение – к ускорению отверждения по сравнению с отверждением не облученного препрега. Замедление отверждения свидетельствует об ускорении процесса линейного роста полимерных цепей и об увеличении средней массы межузловых цепей получаемого сетчатого полимера, а ускорение отверждения – соответственно об ускорении процесса ветвления полимерных цепей и об уменьшении средней массы межузловых цепей в сетчатом продукте. Необходимо учесть, что всё это происходит после точки гелеобразования.

Из полученных результатов следует, что все физико-механические характеристики образцов ПКМ, подвергнутых УФИ, выше вследствие более высокой степени превращения и однородности структуры образцов ПКМ.

Максимальное увеличение  $\Delta\sigma_{и.}$  наблюдается, как правило, при минимальном увеличении  $\Delta\alpha_{уд.}$ , что подтверждает противоположный характер влияния структуры на рассматриваемые механические характеристики материала в целом.

Под действием ультрафиолетового излучения увеличивается вероятность образования линейных продуктов на начальной стадии отверждения, а при глубоком отверждении из линейных блоков формируется сетчатая структура, в результате чего во всех случаях наблюдается увеличение предельной достигаемой степени превращения, которая составляет 90-99 % при температуре 30-70°C, при этом относительное увеличение  $\alpha_{уд.}$  выше, чем увеличение  $\sigma_{и.}$

Таким образом, впервые проведена классификация физических методов модификации полимерных связующих на ориентирующие и энергетически подпитывающие. Полученные данные показали, что энергетически подпитывающие обработки оказывают пластифицирующее влияние, а ориентирующие приводят к преимущественному увеличению разрушающих напряжений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соломатов В.И. Полимерные композиционные материалы в строительстве / В.И. Соломатов, А.Н. Бобрышев, К.Г. Химмлер. М.: Стройиздат, 1988. 312 с.
2. Кестельман В.Н. Физические методы модификации полимерных материалов / В.Н. Кестельман. М.: Химия, 1980. 224 с.
3. Султанаев Р.М. Влияние акустического воздействия на характер молекулярного движения в эпоксидных полимерах / Р.М. Султанаев // Пластические массы. 1992. № 2. С. 20-22.
4. Воронков А.Г. Эпоксидные полимеррастворы для ремонта и защиты строительных изделий и конструкций / А.Г. Воронков, В.П. Ярцев. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн.ун-та, 2006. 92 с.

**Черемухина Ирина Вячеславовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и аппараты химических производств» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Студенцов Виктор Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Ибаев Магомед Омарович** – аспирант кафедры «Химическая технология» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Гильман Александр Абрамович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Irina V. Cheremoukhina** – Ph. D., Associate Professor, Department of Machinery and Equipment of Chemical Plants Engels Technological Institute Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Viktor N. Stouentsov** – Dr. Sc., Professor Department of Chemical Technology Engels Technological Institute Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Magomed O. Ibaev** – Postgraduate Department of Chemical Technology Engels Technological Institute Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Aleksandr A. Gilman** – Ph. D., Associate Professor, Department of Material Science Engels Technological Institute Part of Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 658.562.3

**М.Б. Бровкова, В.В. Мартынов, С.В. Свиридов**

### **ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ИДЕНТИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕЗАНИИ**

*Представлены результаты разработки алгоритма идентификации качества динамических процессов при резании металлов.*

Динамические процессы, качество, идентификация, виброакустические колебания, критерий, алгоритм

**V.V. Martynov, M.B. Brovkova, S.V. Sviridov**

### **SUBSTANTIATION AND DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR QUALITY IDENTIFICATION OF DYNAMIC PROCESSES DURING MACHINING**

*The results of the algorithm development for quality identification of dynamic processes during machining of metals are represented.*

Dynamic processes, quality, identification, vibroacoustic oscillations, criteria, algorithm

Успешное решение технологической задачи числового программного управления станками невозможно без использования критериев, позволяющих оперативно оценивать состояние рабочего процесса (процесса резания), которое непрерывно изменяется даже при обработке одной заготовки. В связи с этим представляется целесообразным оценивать качество сопровождающих резание динамических процессов, поскольку они являются быстропротекающими и характеризуют изменения состояния процесса резания наиболее полно и адекватно.

Известно, что отображением динамических процессов являются виброакустические колебания, спектры сигналов о которых содержат амплитуды, несущие информацию о состоянии процесса резания (т.е. значимые или информативные), а также амплитуды, в которых эта информация отражена неявно или слабо, либо совсем отсутствует (т.е. незначимые или шум), поэтому оценивать состояние процесса резания целесообразно по их соотношению. Критерий, выражающий это соотношение количественно, предложен в [1] и имеет вид

$$St = \frac{S_1}{S_2}. \quad (1)$$

Оптимальному состоянию процесса резания соответствует условие

$$St \rightarrow \min. \quad (2)$$

Условие (2) отражает ситуацию, в которой диссипативные свойства динамической системы станка, определяемые сочетанием параметров технологического режима, являются наилучшими. На основе критерия (1) проводится как поиск оптимального сочетания этих параметров, так и его корректировка в процессе обработки.

Одна из стратегий оценки значимости амплитуды спектра вибросигнала  $A_i$  имеет вид [1]:

$$A_s \geq 0,2A_{\max}. \quad (3)$$

Ее основной недостаток заключается в том, что если спектр является более или менее «ровным», характеризуя состояние процесса резания как стабильное, то ярко выраженного максимума в

нем не будет и значение  $St$  критерия будет очень большим, сигнализируя об ухудшении качества процессов.

В связи с этим целесообразно использовать другие методы разделения спектра на информативную часть и шум, например непараметрический метод, носящий в разведочном анализе название «ящик с усами» [2]. Последовательность выполняемых здесь действий выглядит следующим образом. Полученный спектр сигнала сортируется по возрастанию значений амплитуд и определяется медиана получившегося массива значений. Затем определяются нижняя и верхняя квартили, а также межквартильный размах. Нижняя квартиль  $C_1$  – это медиана упорядоченного спектра от его первого значения до медианы. Верхняя квартиль  $C_2$  – это медиана упорядоченного спектра от его медианы до последнего значения. Межквартильный размах, являющийся расстоянием от нижней квартили до верхней, рассчитывается как

$$\Delta C = C_2 - C_1 \quad (4)$$

Затем вычисляется барьер

$$\delta = C_2 + 1,5\Delta C, \quad (5)$$

определяющий предельно допустимое значение амплитуды спектра, и все амплитуды спектра, превышающие это значение, считаются информативными и используются при расчете числителя критерия (1).

Существует и альтернативная стратегия выделения информативных амплитуд, основанная на использовании двух барьеров. Барьер (5) используется для разделения спектра на значимые и незначимые амплитуды. Второй барьер, определяемый по выражению

$$\delta_2 = C_2 + 2\Delta C, \quad (6)$$

используется для фильтрации массива значимых амплитуд: если некоторая амплитуда превышает значение барьера  $\delta_2$ , то она считается аномальной (неправдоподобной или отскакивающей) и исключается при расчете числителя критерия (1) как носящая характер случайной помехи и не имеющая отношения к динамическим явлениям при резании.

Таким образом, амплитуда считается информативной, если ее значение удовлетворяет условию

$$\delta < Amp \leq \delta_2. \quad (7)$$

Процессы, протекающие при резании, носят случайный характер и имеют различную интенсивность, поэтому спектр вибросигнала непрерывно изменяется случайным образом. Следовательно, для расчета числителя и знаменателя критерия (1) целесообразно использовать основные характеристики случайных величин, такие как математическое ожидание и дисперсия, что приводит к следующим расчетным схемам:

$$S = \sum_{i=1}^n Amp_i \quad (8)$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Amp_i \quad (9)$$

$$S = \sum_{i=1}^n (Amp_i - M)^2, \text{ где } M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Amp_i \quad (10)$$

С целью исследования эффективности схем, а также стратегий разделения спектра была проведена количественная оценка различных наборов сигналов, сформированных из составляющих, имеющих различный вид и амплитудно-частотный состав. Результаты позволили установить, что наиболее продуктивным является выделение информативных амплитуд в соответствии с первой стратегией, т.е. барьера (5), и использование для оценки качества динамических процессов критерия вида

$$St = \frac{\sum_{i=1}^n (Amp_i - M)^2}{\sum_{j=1}^m Amp_j}. \quad (11)$$

С целью исключения ложных результатов идентификации с помощью данного критерия на первом этапе необходимо определить, не является ли зарегистрированный вибросигнал шумом, исследование которого не имеет смысла, поскольку он является оптимальным с точки зрения динамики процесса резания. Наилучшим образом для этого подходит критерий, называемый «критерием инверсий» и являющийся одним из наиболее мощных среди критериев проверки наличия тенденции в случайном процессе.

Инверсия  $I$  определяется следующим образом [2]. Если в ряду измерений за каким-либо выбранным значением следует меньшее по величине, то считается, что имеет место инверсия. Для случайной последовательности  $n$  величин значение инверсии также будет случайной величиной, для которой значения математического ожидания и дисперсии определяются как

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{n(n-1)}{4}, \\ \sigma &= \frac{n(2n+5)(n-1)}{72}.\end{aligned}\quad (12)$$

Критерием для больших объемов выборки является приближенная, нормированная нормально распределенная величина  $ZN$  с математическим ожиданием, равным 0, и дисперсией, равной 1:

$$ZN = \frac{|I - \mu|}{\sigma}.\quad (13)$$

Нулевая гипотеза заключается в том, что в анализируемом ряду значения являются случайными величинами; альтернативная гипотеза – в том, что значения связаны некоторой зависимостью. Нулевая гипотеза отклоняется с уровнем значимости  $\alpha$ , если значение  $ZN$  превысит значение  $(1+\alpha)/2$  квантиля стандартного нормального распределения

$$ZN \geq u_{(1+\alpha)/2}.\quad (14)$$

Для сгенерированного случайного сигнала с математическим ожиданием, равным 0, и дисперсией, равной 1, значение критерия  $ZN$  составило 1,27. Предельное значение критерия для уровня значимости 0,05 равно 1,96, т.е. в сгенерированном сигнале тенденция отсутствовала. Расчет значений критерия инверсий для вибросигналов, полученных при обработке заготовок из титанового сплава ОТ4 на станке 16А20Ф3 на различных сочетаниях параметров технологического режима, показал (рис. 1), что во всех присутствует неслучайная составляющая.

Из рис. 1 видно, что минимальное значение  $St$  критерий (11) имел у 1 режима, который определяется частотой вращения шпинделя  $400 \text{ мин}^{-1}$  и продольной подачей  $0,1 \text{ мм/об}$ , а максимальное – у 6 режима, определяемого частотой вращения шпинделя  $600 \text{ мин}^{-1}$  и продольной подачей  $0,1 \text{ мм/об}$ . Изменения  $St$  критерия для этих режимов во времени показаны на рис. 2 и определяют возможность разработки на его основе процедуры идентификации качества динамических процессов при резании по результатам оценки значимости изменений как среднего значения  $St$  критерия, так и колебаний его текущих значений вокруг среднего.

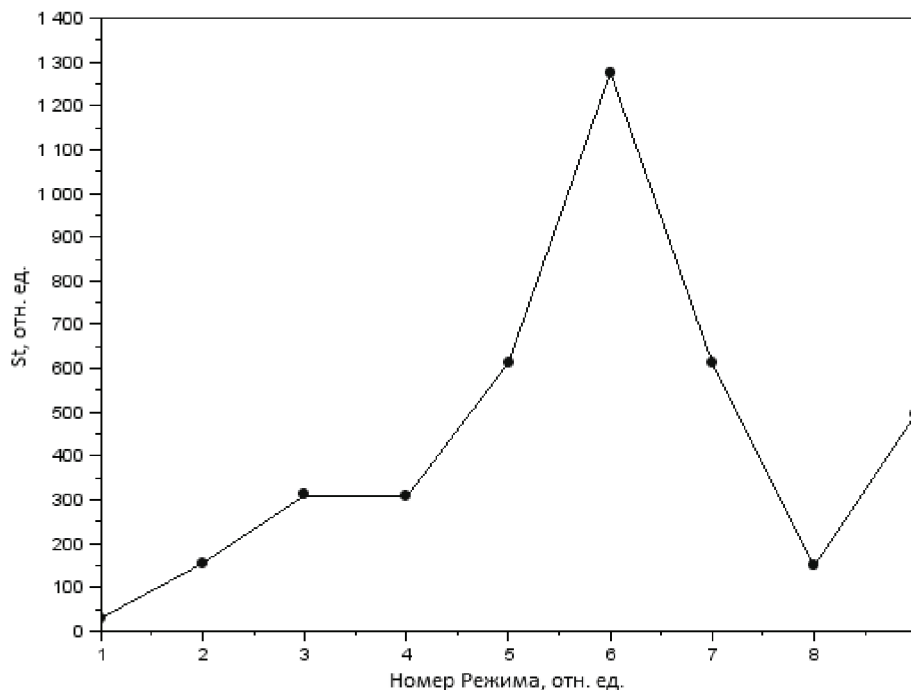


Рис. 1. Изменение значения  $St$  критерия в зависимости от режима обработки заготовок из титанового сплава ОТ4 резцом из сплава Т15К6



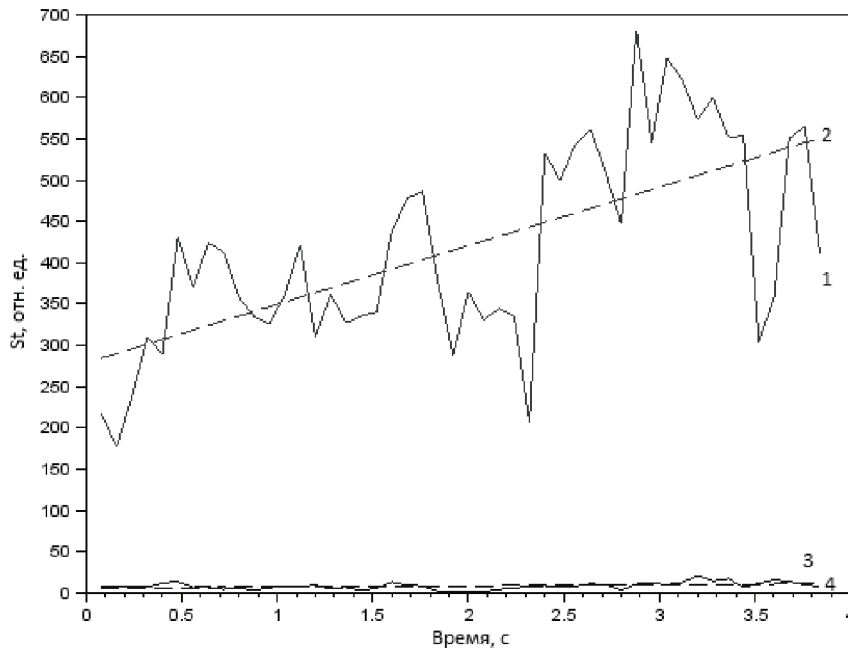


Рис. 2. Изменение значения  $St$  критерия во времени: 1 – обработка на 6 режиме; 2 – линия тенденции изменения среднего значения для режима 6; 3 – обработка на 1 режиме; 4 – линия тенденции изменения среднего значения для режима 1

Оценку значимости процесса изменения среднего можно провести с помощью статистической проверки гипотезы о равенстве нулю углового коэффициента  $a$  линии тенденции  $St$  критерия на основе сравнения его значения с величиной стандартной ошибки  $m_a$ , которая определяется по формуле

$$m_a = \frac{S}{\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2}}, \quad (15)$$

где  $S$  – оценка стандартного отклонения значений  $St$  критерия от линии тенденции,  $\sum_{i=1}^n t_i^2$  рассчитывается при отсчете  $t_i$  от середины ряда [3].

Отношение значения углового коэффициента к его стандартной ошибке – это  $t$ -критерий Стьюдента:

$$t = \left| \frac{a}{m_a} \right|. \quad (16)$$

Расчетное значение  $t$ -критерия сравнивается с табличным для  $(n-2)$  степеней свободы. Если значение  $t$ -критерия превышает табличное, то вероятность равенства параметра  $a$  нулю крайне мала, следовательно, можно утверждать, что изменение среднего значения  $St$  критерия имеет неслучайный характер. В частности, и для наилучшего, и для наихудшего режимов на рис. 2 значения критерия превышают табличное значение, т.е. в динамической системе имели место значимые изменения.

Колеблемость значений  $St$  критерия вокруг тенденции количественно характеризует доверительный интервал для нее (рис. 3 а). Значимость же колеблемости можно оценить, построив линию тенденции стандартных отклонений  $St$  критерия от их среднего значения и оценив значимость ее углового коэффициента, либо рассчитав доверительный интервал для нее (рис. 3 б). Как видно, наилучший режим 1 в обоих случаях имеет минимальные доверительные интервалы для обеих линий тенденций.

Полученные результаты означают, что даже при обработке на наилучшем режиме динамика процесса резания изменяется значимо, т.е. среди исследованных режимов стабильного резания не было ни на одном из них. В связи с этим важной частью процедуры идентификации качества динамических процессов является определение причин, вызывающих проявления нестабильности. В постановочном плане решаемая задача является типичной задачей дисперсионного анализа и сводится к проверке гипотезы об однородности данных в нескольких совокупностях, которыми являются вы-

борки из массива значений  $St$  критерия, вычисленных с определенным шагом на интервале времени регистрации вибросигнала. При этом повышение оперативности и достоверности результатов проверки приводит к необходимости уменьшения объема этих выборок, что означает необходимость применения непараметрических методов дисперсионного анализа. Одним из таких методов является однофакторный дисперсионный анализ Крускала-Уоллиса, который проверяет гипотезу о том, что  $p$  выборок извлечены из одной и той же совокупности ( $F_1 = F_2 = F_p$ ) против альтернативы различий в сдвиге, которые могут быть выражены как  $F_j(x) = F(x - \Delta_j)$ ,  $i = 1, \dots, p$ , где параметры  $\Delta_j$  не равны между собой [2].

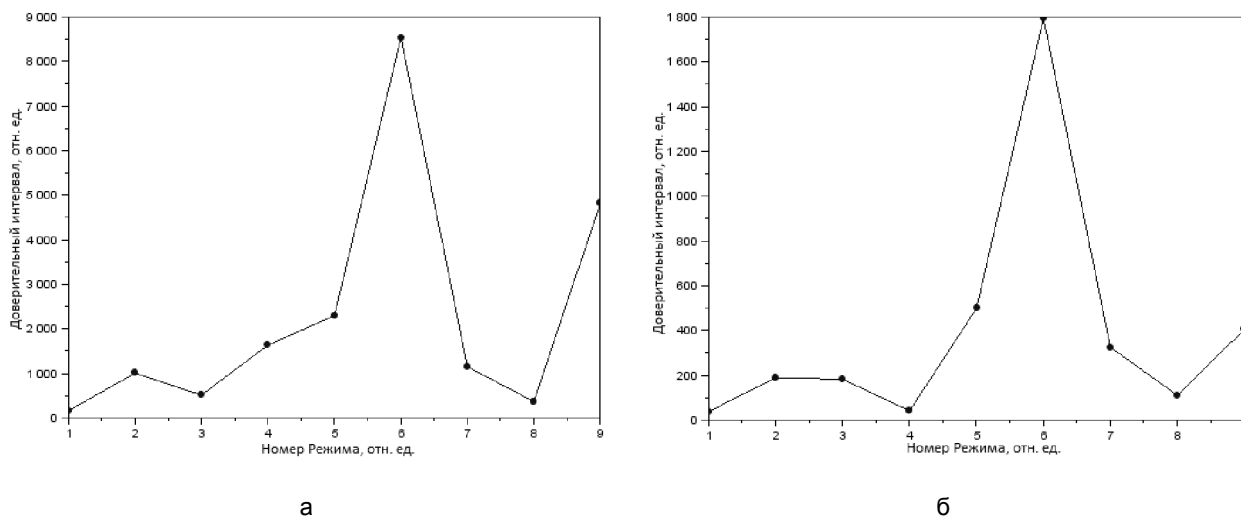


Рис. 3. Вариации значений доверительных интервалов линий тенденции  $St$  критерия (а) и его стандартных отклонений (б) в зависимости от режима обработки

Пусть имеется  $p$  независимых случайных выборок  $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{in})$ ,  $i = 1, \dots, p$ ,  $p \geq 2$ , причем выборка  $x_i$  извлечена из распределения с непрерывной функцией распределения  $F_i(x)$ ,  $i = 1, \dots, p$ . Рассмотрим все  $n = n_1 + \dots + n_p$  выборочных значений, упорядочим их по величине и заменим рангами. Пусть  $r_{ij}$  – ранг выборочного значения  $x_{ij}$  и

$$R_i = \sum_{j=1}^{n_i} r_{ij} \tag{17}$$

– сумма рангов  $i$ -й выборки,  $i = 1, \dots, p$ .

Критерий Крускала-Уоллиса использует статистику

$$V = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^p (R_i^2 / n_i) - 3(n+1). \tag{18}$$

На практике часто используют аппроксимацию распределения  $V$  распределением  $\chi^2$  с  $k = p - 1$  степенью свободы или приближением  $F$ -распределением Фишера. В этом случае необходимо вначале вычислить статистику

$$J_V = \frac{V}{2} \left( 1 + \frac{n-p}{n-1-V} \right), \tag{19}$$

а затем

$$J_{V\alpha} = \frac{1}{2} \left[ (p-1) \times F_\alpha(k_1, k_2) + \chi_\alpha^2(k) \right], \tag{20}$$

где  $F_\alpha(p-1, n-p)$  –  $\alpha$ -квантиль  $F$ -распределения с  $k_1 = p-1$  и  $k_2 = n-p$  степенями свободы. Нуль-гипотеза об однородности  $p$  выборок отклоняется на уровне  $\alpha$ , если  $J_V \geq J_{V\alpha}$ .

Для иллюстрации применения критерия Крускала-Уоллиса на рис. 4 представлен фрагмент вибросигнала при обработке на режиме 6, в котором отчетливо проявился процесс биения шпинделя станка 16А20Ф3 на частоте вращения, а на рис. 5 – график изменения статистики  $J_V$  и ее предельного значения  $J_{V\alpha}$  в зависимости от количества точек в выборке значений  $St$  критерия, которые рассчиты-

вались с шагом 0,02 с при частоте дискретизации вибросигнала 40 кГц. Из графика видно, что выборки перестают быть однородными при уменьшении количества точек в них до 3, так как значение критерия Крускала-Уоллиса превышает предельное. Это означает проявление нестабильности процесса резания на частотах, меньших 1200 Гц, которое может отрицательно сказаться на точности изготовленных деталей по параметру отклонения от круглости и волнистости.

Результаты выполненных исследований легли в основу разработки алгоритма идентификации качества динамических процессов при резании (рис. 6).

Вначале определяется оптимальный режим функционирования оборудования. С этой целью на каждом из возможных режимов проводится пробная обработка и регистрируются вибросигналы. На первом этапе обработки с помощью критерия инверсий проводится проверка наличия в них информативных частот. Вибросигнал, в котором этих частот не окажется, идентифицирует соответствующий режим как оптимальный и алгоритм переходит в режим мониторинга процесса резания на этом режиме. Если же такого вибросигнала среди зарегистрированных не окажется, то либо производится регистрация вибросигналов на других режимах, либо выполняется второй этап обработки зарегистрированных вибросигналов, на котором для каждого из них вычисляется значение  $St$  критерия в форме (11). Затем по условию (2) производится идентификация наилучшего режима, который принимается за оптимальный.

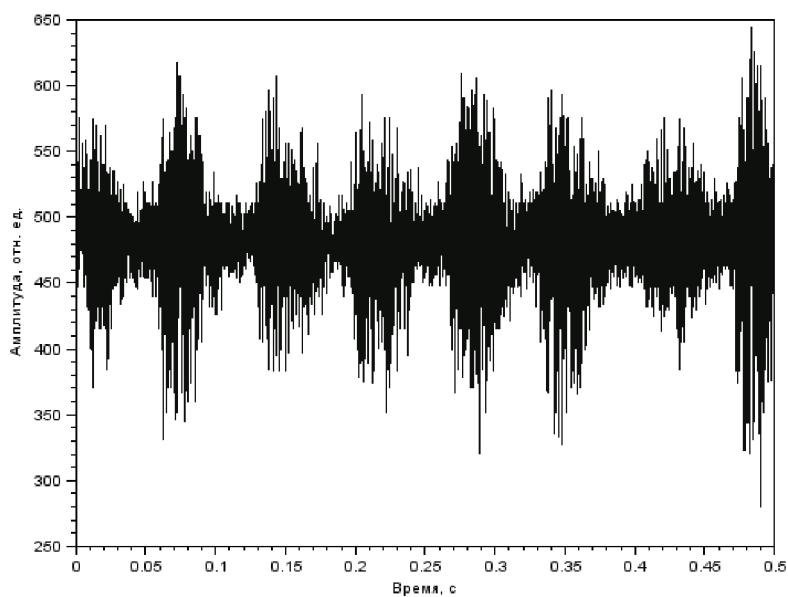


Рис. 4. Вибросигнал с биением шпинделя станка 16Ф20Ф3

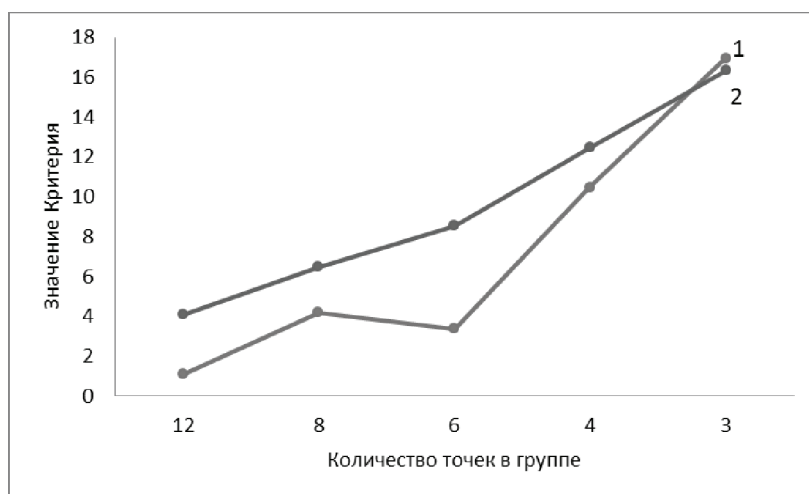


Рис. 5. Изменение критерия Крускала-Уоллиса (1) и его предельного значения в зависимости от объема выборок  $St$  критерия

В процессе резания на найденном оптимальном режиме проводится мониторинг качества динамических процессов: выделяются линии тенденции в массивах значений  $St$  критерия и его стандартных

отклонений, определяются их угловые коэффициенты и рассчитываются доверительные интервалы. Если какой-то из угловых коэффициентов или доверительных интервалов начинает возрастать, то с помощью дисперсионного анализа Крускала-Уоллиса выполняется процедура определения причин этого роста в виде частотного диапазона, в котором выборки  $St$  критерия теряют свойство однородности и с помощью  $t$ -критерия Стьюдента принимается решение о виде и степени изменений:

- если возрастает доверительный интервал, то изменения являются незначимыми;
- если значимым является угол наклона линии тенденции в массиве стандартных отклонений  $St$  критерия, то изменения носят параметрический характер, и необходимо перейти к первому этапу для поиска нового оптимального режима резания;
- если значимым является угол наклона линии тенденции в массиве значений  $St$  критерия, то изменения являются функциональными и необходимо прекратить обработку для устранения их последствий.

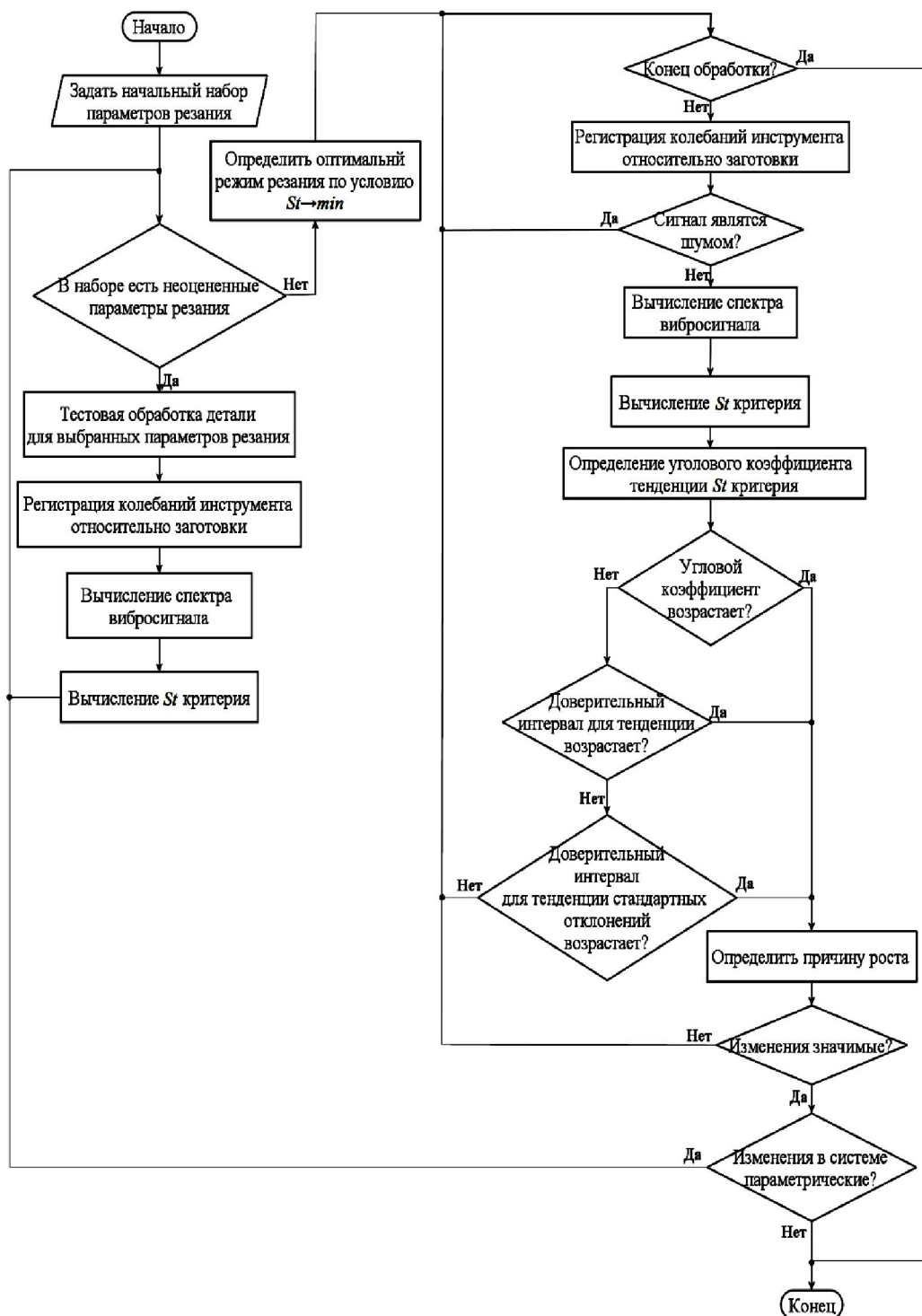


Рис. 6. Алгоритм идентификации качества динамических процессов при резании

Результаты выполненных исследований позволяют сделать вывод о том, что динамические процессы как результат «медленных» и «быстрых» движений, совершаемых инструментом и заготовкой, целесообразно анализировать с позиций рассмотрения первых движений как упорядоченного равновесного макроскопического состояния системы резания, а вторых – как отклонений от него или микроскопических неравновесных состояний. Тогда если принять число неравновесных состояний равным  $\Delta$  и пропорциональным величине отклонения от равновесного состояния, то условию равновесия будет соответствовать  $\Delta = 0$ . Пока  $\Delta$  мало, система резания находится в состоянии равновесия или вблизи него, но чем больше  $\Delta$ , тем с большей вероятностью она под их влиянием начинает подчиняться законам эволюции в смысле движения к новому равновесному состоянию. Когда же  $\Delta$  достигает некоторого критического значения, исходное равновесное состояние становится неустойчивым. В этой ситуации основной задачей становится идентификация нового равновесного состояния на основе перехода с микроскопического уровня наблюдения за эволюцией системы на макроскопический. Математически это означает необходимость разработки механизма перехода от микроскопической динамики к статистическому усреднению. С позиций представленных в статье материалов отображение эволюции системы резания на пространство  $St$  критерия и есть механизм этого перехода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Динамический мониторинг технологического оборудования / Б.М. Бржозовский, В.В. Мартынов, И.Н. Янкин, М.Б. Бровкова. Саратов: СГТУ, 2008. 312 с.
2. Большаков А.А. Методы обработки многомерных данных и временных рядов: учеб. пособие / А.А. Большаков, Р.Н. Каримов. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 552 с.
3. Афанасьев В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / В.Н. Афанасьев, М.М. Юзбашев. М.: Финансы и статистика, 2001. 228 с.

**Бровкова Марина Борисовна** – доктор технических наук, профессор, декан факультета электронной техники и приборостроения Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Marina B. Brovkova** – Dr.Sc., Professor  
Dean: Electronics and Instrumentation Engineering  
Gagarin Saratov State Technical University

**Мартынов Владимир Васильевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Vladimir V. Martynov** – Dr.Sc., Professor  
Department of Fabrication Facilities Design and Computer Modeling for Mechanical and Instrumentation Engineering  
Gagarin Saratov State Technical University

**Свиридов Сергей Викторович** – аспирант кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergey V. Sviridov** – Postgraduate  
Department of Information Security of Automated Systems  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.07.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 621.923

**В.О. Горбачёв, В.В. Погораздов**

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ПОДДЕРЖКА ДЛЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КОНЦЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ НЕЗАМКНУТЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ШАРНИРАХ РАВНЫХ УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ**

*Показано решение прямой и обратной задач формообразования концевым инструментом функциональных поверхностей в шарнирах равных угловых скоро-*

стей. Решение найдено на основе аналитических и численных методов теории огибающих в пространстве с использованием вычислительных и графических средств системы MathCad.

Шарнир равных угловых скоростей, эллиптическая поверхность, фасонный концевой инструмент, производящая поверхность, осевое сечение, геометрическая модель процесса

V.O. Gorbachev, V.V. Pogorazdov

COMPUTER-AIDED TOOL FOR FORMING TERMINAL UNCLOSED ELLIPTIC SURFACES IN CONSTANT VELOCITY JOINTS

The article presents the solution to the direct and inverse problems of the shaping tools, including terminal functional surfaces in constant velocity joints. The solution is based on the analytical and numerical methods of the theory of envelopes in the space using the MathCad computing and graphic capabilities.

Constant-velocity joint, an elliptic surface, shaped end tool generating surface, axial section, a geometric model of the process

При обработке элементов шарниров равных угловых скоростей (ШРУС-Рцеппа [1, 2]) выделяется прецизионная операция формообразования незамкнутых желобов с эллиптическим профилем поперечного сечения. Сравнивая этот шарнир с шариковым подшипником, каждый из его желобов можно рассматривать как двухконтактную дорожку качения.

Для предварительной лезвийной и абразивной финишной обработки рассматриваемых поверхностей в массовом производстве используется специальное оборудование с наладками [3] (рис. 1) и безальтернативная «базовая» схема формообразования концевым инструментом (рис. 2). В российской практике аналитическая поддержка данной операции практически отсутствует [4], а зарубежные фирмы не склонны распространять о ней какую-либо информацию в открытой печати.

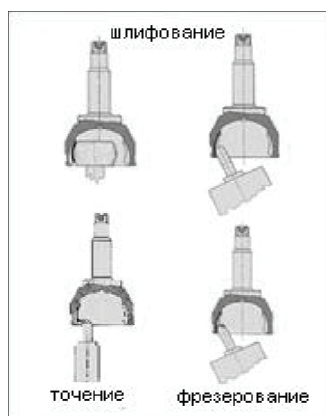


Рис. 1. Наладки

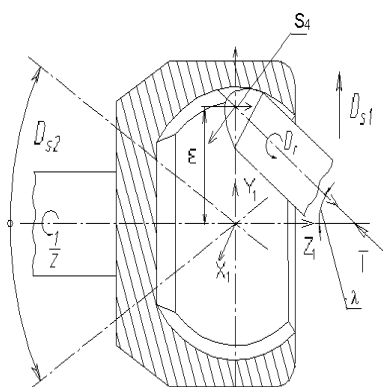


Рис. 2. Схема:  
 $D_r$  – главное движение;  
 $D_{s1,2}$  – подачи;  $1/z$  – деление

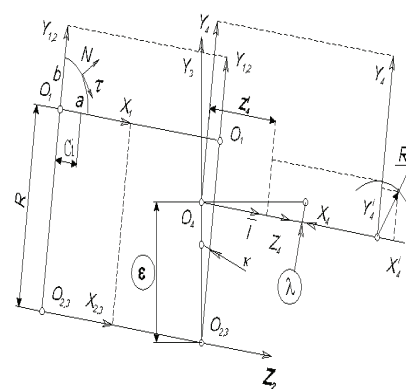


Рис. 3. Базовая модель

Строгому расчёту при подготовке данной операции подлежит профиль концевой инструмента (фреза или шлифовальный круг), который при наладке инструмента под углом к осевому сечению жёлоба неочевиден. В данной работе даются решения традиционных задач профилирования производящей поверхности концевой инструмента по заданной поверхности желоба (прямая задача) и профилирования поверхности жёлоба заданным инструментом (обратная задача). Решаются сформулированные задачи адекватными приёмами с использованием вычислительных и графических процедур компьютерной системы MathCad [5].

На основании базовой схемы формообразования составлена координатная модель (рис. 3), эквивалентная процессам формообразования желобов в корпусе (показано) и на обойме (не показано). Сразу заметим, что для геометрического описания процесса достаточно ввести в рассмотрение четыре правые ортогональные декартовы системы координат:

$S_1(X_1 Y_1 Z_1)$  – для описания профиля каноническим уравнением эллипса;  
 $S_2(X_2 Y_2 Z_2)$  – вспомогательная система с началом в центре шарнира для описания жёлоба;  
 $S_3(X_3 Y_3 Z_3)$  – условно неподвижная, связанная с корпусом шарнира;  
 $S_4(X_4 Y_4 Z_4)$  – связана с концевым инструментом так, что ось  $Z_4$  совпадает с осью инструмента и составляет с осью  $Z_3$  угол наладки  $\lambda$ . Вторым наладочным параметром  $\varepsilon$  служит величина проекции начала системы  $S_4$  на ось  $Y_3$  неподвижной системы.

Модель формообразования жёлоба на обойме при внешнем касании инструмента получается из рис. 3 простой сменой знака перед угловым наладочным параметром  $\lambda$  и соответствующим выбором значения линейного наладочного параметра  $\varepsilon$ .

Для решения прямой задачи, прежде всего, необходимо отобразить в условно неподвижную систему  $S_3$  профиль жёлоба и орт-нормали к нему. Делается это с помощью тривиальных векторно-матричных преобразований:

$$\bar{r}_3(c_i, \kappa) = M_{32}^4 \cdot M_{21}^4 \cdot \bar{r}_1(c_i); \tag{1}$$

$$\bar{N}_3(c_i, \kappa) = M_{32}^3 \cdot M_{21}^3 \cdot N_1(c_i). \tag{2}$$

Здесь в самой общей форме обозначены:  $\bar{r}_3(c_i, \kappa)$  – радиус-вектор текущей точки на эллиптическом профиле жёлоба;  $\bar{N}_3(c_i, \kappa)$  – орт-нормали к профилю;  $M_{32}^3, M_{21}^3$  – матрицы третьего  $M_{32}^4, M_{21}^4$  – матрицы четвёртого порядка для формализации переходов из системы в систему модели.

В свою очередь, проекции вектора  $r_1$  на оси системы  $S_1$  и орт-нормали  $N_1$  будут такими:

$$\bar{r}_1(c_i) = c_i \cdot \bar{i} + \left[ \sqrt{(a^2 \cdot b^2 - b^2 c_i) / a^2} \right] \cdot \bar{j} + 0 \cdot \bar{k}; \tag{3}$$

$$\bar{N}_1(c) = \sin[\arctg(\kappa)] \cdot \bar{i} + \cos[\arctg(\kappa)] \cdot \bar{j} + 0 \cdot \bar{k}; \tag{4}$$

$$\text{где } \kappa = \frac{-b^2 \cdot c_i}{a^2 \cdot \sqrt{(a^2 \cdot b^2 - b^2 c_i) / a^2}}.$$

Заметим, что вышеприведённые соотношения с учётом в них независимых параметров  $c_i, k$ , представляют собой аналитические эквиваленты поверхности жёлоба и поля нормалей к ней в условно неподвижной системе  $S_3$ .

Ось концевого инструмента представим в модели единичным вектором  $\bar{I}$ , проходящим согласно наладке через точку  $O_4$ . Запишем на основании рис. 3 компоненты этого вектора в неподвижной системе:

$$\bar{I} = 0 \cdot \bar{i} - \sin(\lambda) \cdot \bar{j} + \cos(\lambda) \cdot \bar{k}. \tag{5}$$

Характеристику контакта искомой производящей поверхности концевого инструмента с поверхностью жёлоба найдём из условия ортогонального проектирования оси инструмента на поверхность жёлоба [4]. Формально это условие может быть выражено равенством нулю определителя третьего порядка (6):

$$f(c, \kappa) = \begin{vmatrix} X_3 & Y_3 - \varepsilon & Z_3 \\ 0 & -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) \\ N_{1x} & N_{1y} \cdot \cos(\kappa) & N_{1y} \cdot \sin(\kappa) \end{vmatrix} = 0. \tag{6}$$

Решая с учётом (1) трансцендентное уравнение (6) относительно  $c$  с помощью процедуры  $\text{root}(f(I, k), k)$  системы MathCad, по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} X_4 &= c_i; \\ Y_4 &= [(Y_1 + R) \cdot \cos(\kappa)] \cdot \cos(\lambda) + [(Y_1 + R) \cdot \sin(\kappa)] \cdot \sin(\lambda) - \varepsilon \cdot \cos(\lambda); \\ Z_4 &= -[(Y_1 + R) \cdot \cos(\kappa)] \cdot \sin(\lambda) + [(Y_1 + R) \cdot \sin(\kappa)] \cdot \cos(\lambda) - \varepsilon \cdot \sin(\lambda); \end{aligned} \right\}$$

определяем проекции характеристики на оси системы инструмента  $S_4$ . Для примера они показаны на рис. 4.

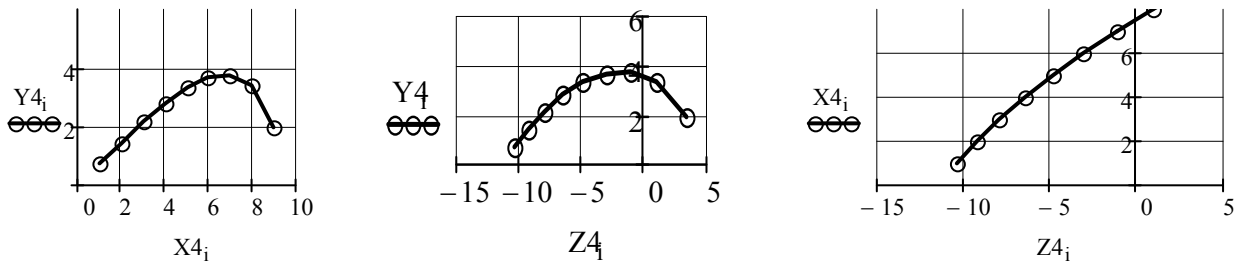


Рис. 4. Проекция характеристики в контакте инструмент-деталь на оси системы  $S_3$

Определив характеристику и придав ей вращательное движение вокруг оси концевой инструмента, находим его производящую поверхность по формулам:

$$\left. \begin{aligned} Z_n &= Z_4; \\ R_n &= \sqrt{(X_4)^2 + (Y_4)^2}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Для рассматриваемого примера:  $a=9.327\text{мм}$ ;  $e=9.726\text{мм}$ ;  $R=50\text{мм}$  осевой профиль инструмента, массивы для его построения и трёхмерная модель производящей поверхности показаны на рис. 5.

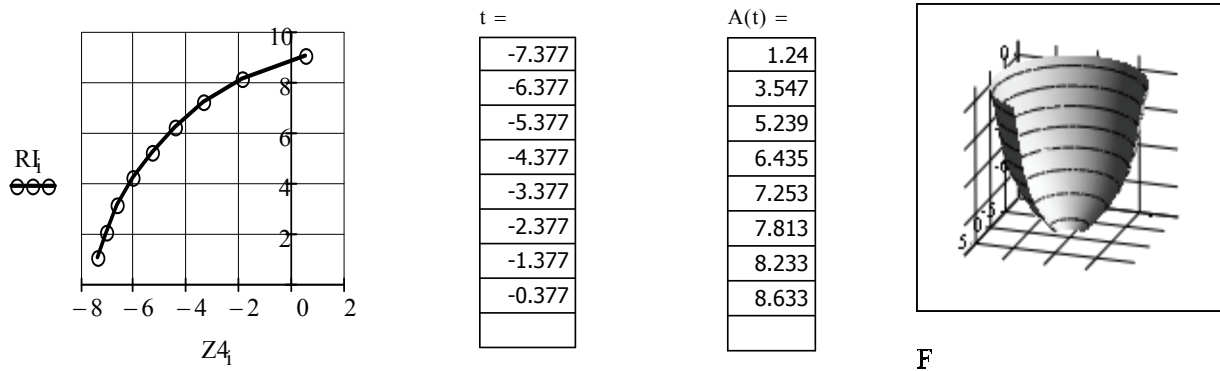


Рис. 5. Представление профиля инструмента

Решение прямой задачи в разработанном алгоритмическом обеспечении дублируется сугубо численно круговым проектированием каркасных линий жёлоба на осевое сечение инструмента. Это весьма плодотворный приём в алгоритме решения прямой задачи, позволяющий исключить возможную формальность дифференциального решения. Процедура в интерактивном взаимодействии с ЭВМ легко выполняется путём сравнения на общем графике (рис. 6) нижней границы «облака» круговых проекций каркасных линий поверхности жёлоба на осевое сечение инструмента (1-я трассировка) с «характеристическим» профилем (4-я трассировка).

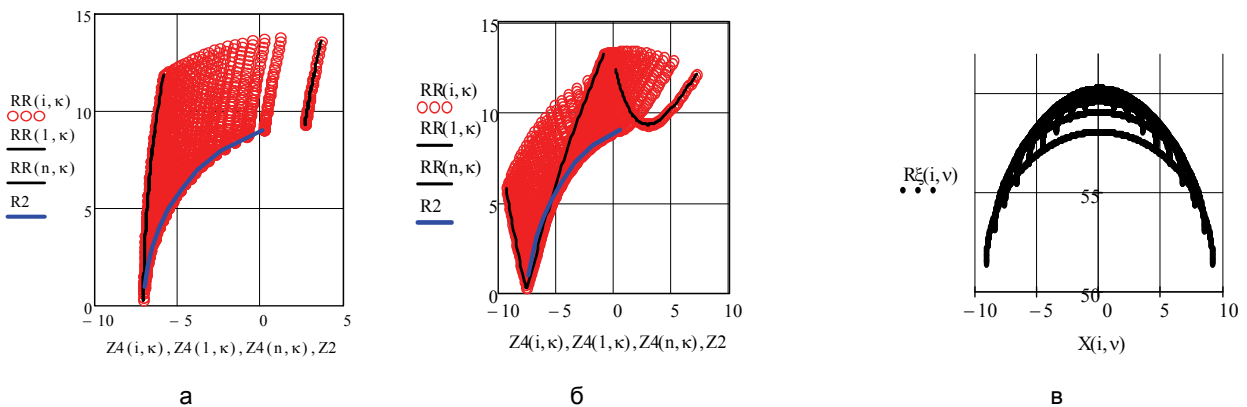


Рис. 6. Сравнение дифференциального и численного методов профилирования



На рис. 6а хорошо видно, как при тестовой наладке ( $\lambda=\pi/2$ ), обволакивающий облако контур совпадает с характеристическим профилем. При этом оба они, вполне естественно, становятся конгруэнтными исходному эллиптическому профилю жёлоба. Следует заметить, что 2-я и 3-я трассировки на совмещённом графике, в свою очередь, показывают положения двух характерных круговых проекций на осевое сечение инструмента. Вторая трассировка показывает положение полярной линии жёлоба (1-я) и кромочной (n-я). Для ясности заметим, что по кромочной линии жёлоб пересекается с внутренней сферой ШРУСа.

По положению кромочной линии на графике (рис. 6б) определяется правая граница профиля производящей поверхности инструмента ( $Z_4=2/6$  мм), а по положению полярной линии – его левая граница ( $Z_4=-6,5$  мм). Уместно отметить важный технологический аспект, связанный с наладкой инструмента под углом  $\lambda$  к диаметральной плоскости шарнира. Данная ориентация оси инструмента обуславливает форму производящей поверхности со срезанной вершиной и исключает резание или шлифование с критично малыми скоростями в окрестности оси инструмента. В приведённом примере минимальная скорость резания будет определяться радиусом производящей поверхности инструмента примерно 6 мм (рис. 6б).

Алгоритм решения обратной задачи в данной статье подробно не рассматривается, а лишь демонстрируется его реализация графиком на рис. 6в. На плоскости поперечного сечения поверхности жёлоба вычислительными и графическими процедурами системы MathCad построена схема его формообразования. Точность решения регулируется назначенным числом виртуальных дисков нулевой толщины, представляющих производящую поверхность концевой инструмента.

Схема формообразования, показанная на рис. 6в, позволяет априорно исследовать условия взаимодействия производящей поверхности инструмента со слоем припуска, а также оценивать последствия возможных в подобных случаях модификаций производящей поверхности абразивного инструмента при его правке и погрешностях наладки.

Авторы будут считать свою задачу выполненной, если изложенные в статье результаты хоть в малой степени поспособствуют развитию теории проектирования рассмотренной операции механической обработки, применяемой на одном из заводов местной промышленности в массовом производстве [6].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы / Л.Н. Решетов. М.: Машиностроение, 1979. 334 с.
2. [http://www.toyota-club.net/files/03-01-10/02-12-01\\_shrus.htm](http://www.toyota-club.net/files/03-01-10/02-12-01_shrus.htm)
3. <http://www.directindustry.com/prod/fimat/cnc-constant-velocity-joint-cage-window-grinding-machines-40959-352714.html>
4. Геометрические аспекты формообразования незамкнутых квазиторовых поверхностей гомотетического шарнира / А.М. Чистяков, А.П. Гонтарев, В.В. Погораздов, А.Г. Шилин // Исследование станков и инструментов для обработки сложных и точных поверхностей: межвуз. науч. сб. Саратов, 1996.
5. Кирьянов Д.В. Mathcad 13 / Д.В. Кирьянов СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 608 с.
6. <http://www.sarsim.ru/>

**Горбачёв Валерий Олегович** – аспирант кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Valery O. Gorbachev** – Postgraduate  
Department of Fabrication Facilities Design and Computer Modeling for Mechanical and Instrumentation Engineering  
Gagarin Saratov State Technical University

**Погораздов Валерий Васильевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование и компьютерное моделирование технологического оборудования в машино- и приборостроении» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Valery V. Pogorazdov** – Dr. Sc., Professor  
Department of Fabrication Facilities Design and Computer Modeling for Mechanical and Instrumentation Engineering  
Gagarin Saratov State Technical University

М.М. Журавлев, О.П. Решетникова, А.Г. Мирошкин

## ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ

*Рассматривается процесс лазерного упрочнения, который является приоритетным направлением для повышения износостойкости и надежности узлов трения и рабочих органов машин. Приведены результаты экспериментов лазерного поверхностного упрочнения деталей типа «вал».*

Лазер, упрочнение, вал, микротвердость

M.M. Zhuravlev, O.P. Reshetnikova, A.G. Miroshkin

## LASER RADIATION POWER EFFECT ON THE HARDNESS ALTERATION OF THE TOOLS SURFACE LAYER

*The article considers the process of laser hardfacing, which is aimed at raising wear-resistance and reliability of a friction unit and working parts of machines. It also presents the results of experiments referring such laser hardfacing tools as the «shaft».*

Laser, hardfacing, shaft, microhardness

В настоящее время большому числу промышленного оборудования необходим переход на новые наукоемкие технологии, обеспечивающие высокую производительность труда, возможность быстрой смены номенклатуры продукции, полную автоматизацию, экологию производства, высокое качество и конкурентоспособность на мировом рынке. Всеми этими качествами обладают лазерные технологии [1].

Основой процесса лазерного упрочнения является быстрый нагрев до высокой температуры (температуры плавления) поверхностного слоя металла с последующим быстрым охлаждением путем отвода тепла в основной объем металла, который остается практически холодным [4]. Необходимое повышение температуры металла можно получить и стандартными методами – нагревом в термической или индукционной печи. Однако эти методы часто являются непригодными из-за неоднородности нагрева. Кроме того, в крупногабаритных деталях или в деталях сложной конфигурации очень часто необходимо закалить только часть поверхности, а не весь объем детали. Применение в подобных ситуациях лазера является наиболее эффективным решением [2]. Упрочнение лазером может проводиться с оплавлением и без оплавления поверхностного слоя. Чаще всего используют обработку без оплавления с сохранением исходной шероховатости  $Ra=0,1 - 0,8$  мкм. Глубина упрочняемого слоя металла определяется величиной допустимого линейного износа [3].

Рассмотрим применение лазеров для поверхностного упрочнения на примере нежесткого вала типа струны (рис. 1). Длина подобных валов более чем в 20 раз превышает их диаметр. Вал выполнен из рессорной стали марки 25Х2ГНТА и имеет сложную конфигурацию: на одной стороне имеется кулачковый профиль, на другой – шестерня и шлицы. Деталь является ответственной, поскольку используется в авиационной промышленности. Вал в процессе эксплуатации испытывает продолжительные знакопеременные нагрузки при передаче крутящего момента, для чего длинную цилиндрическую часть вала предварительно поверхностно упрочняют.

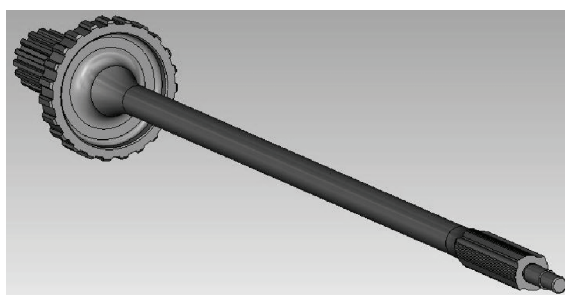


Рис. 1. Нежесткий вал типа струны

На предприятии-изготовителе упрочнение поверхности осуществляется после операции полирования ударными механическими воздействиями, такими как дробеструйная обработка, обкатка. Однако применение данного метода нерационально, т.к. в этом случае не достигается заданная твердость поверхностного слоя, накапливаются остаточные напряжения, множество деталей уходит в брак. Наиболее рационально применить технологию лазерного упрочнения, поскольку такая технология обеспечит заданные технологические параметры и высокую производительность. Также предлагаемая технология экологически чиста.

Для проведения исследований был изготовлен образец из стали 25Х2ГНТА, закаленной и отпущенной на твердость 41...48 HRC, в виде цилиндра диаметром 11 мм и длиной 90 мм. Образец закреплялся в приспособлении на столе лазерной установки «Квант-15» и подвергался лазерной обработке по следующим режимам:  $P=0,5; 0,6$  и  $0,7$  кВт,  $d_{л}=1,2$  мм;  $V=10$  мм/с. Для лучшего поглощения лазерного излучения заготовку предварительно оксидировали, что придало ей черный цвет. На каждом из режимов обработки вдоль оси заготовки проводили лазерным лучом так, чтобы на образующей цилиндра оставался след в виде прямой линии, после чего заготовку поворачивали на определенный угол и повторяли обработку. После окончания обработки образец разрезался электроэрозионным способом перпендикулярно своей оси на 3 равные части, из которых изготавливались шлифы для дальнейших металлографических исследований и измерения микротвердости упрочненного лазерным излучением слоя (рис. 2). Шлифы травили 4 %-м раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Микроструктуру закаленных зон исследовали на световом микроскопе МИМ-10 при увеличении  $\times 100$ . Микротвердость определяли на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,5 Н.

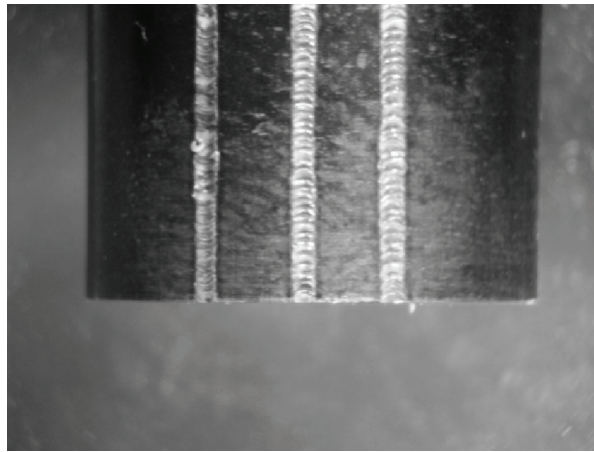


Рис. 2. Вид заготовки после лазерной обработки и обрезки

Металлографическими исследованиями установлено, что в результате воздействия лазерного луча в металле образуется зона термического влияния. Структурные и фазовые превращения в зоне термического влияния приводят к формированию различных по структуре слоев. Поверхностный слой представляет собой плохо травящуюся «белую» зону с мелкоигльчатой мартенситной структурой (зона упрочнения), за ней следует зона повышенной травимости (зона отпуска), переходящая в исходную мартенситную структуру предварительно закаленной стали (рис. 3). Размеры зоны упрочнения зависят от мощности лазера.

С увеличением мощности лазерной обработки увеличиваются как глубина, так и ширина зоны упрочнения. При увеличении мощности более 0,7 кВт при прочих равных условиях на поверхности заготовки появляется окалина, увеличивается шероховатость поверхности.

Измерение микротвердости по глубине зоны термического влияния показало, что в зоне упрочнения при всех режимах лазерной обработки происходит увеличение микротвердости по сравнению с исходной в 1,5-2 раза, причем в большей степени при повышенных мощностях лазера. Следует отметить, что для зоны упрочнения характерен большой разброс значений микротвердости, хотя средние значения очень велики и составляют 9000-12000 МПа. Это связано, в первую очередь, с разнородностью фазового состояния стали. Аппроксимируя эмпирические значения микротвердости, получили график зависимости микротвердости от мощности лазера по глубине на примере стали 25Х2ГНТ (рис. 4).

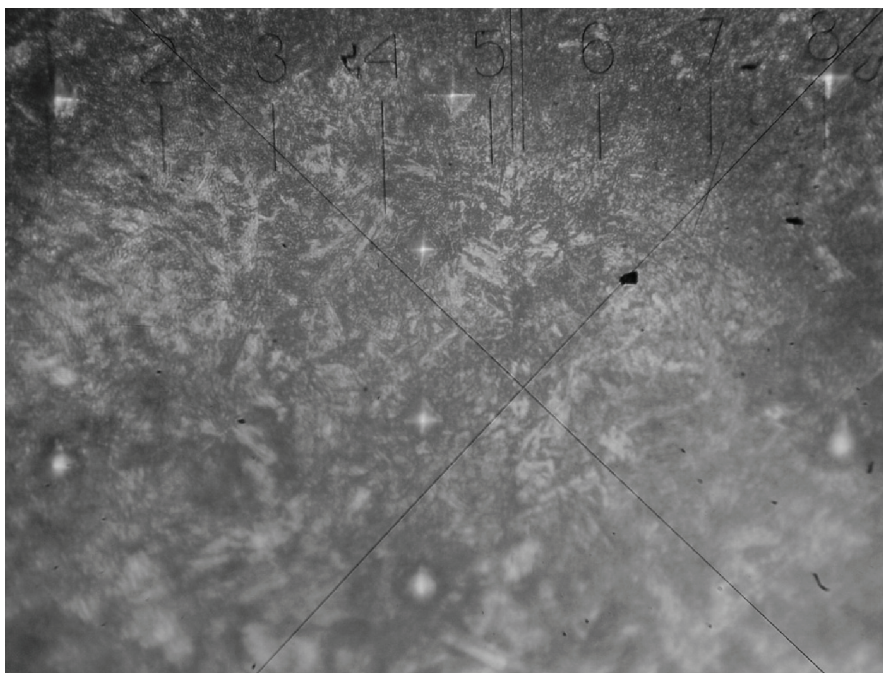


Рис. 3. Микрошлиф заготовки. Область упрочнения (x100)

При малых значениях мощности ( $P=0,5$  кВт) падение микротвердости начинается раньше границы зоны упрочнения, а при больших значениях по глубине зоны упрочнения микротвердость практически не изменяется, а затем резко снижается при переходе через границу зоны упрочнения, причем для всех исследованных режимов лазерной обработки микротвердость после перехода границ зон упрочнения составляла 4000-5000 МПа, а затем постепенно увеличивалась до уровня микротвердости исходного материала 5500 МПа. Оказалось также, что протяженность зон отпуска не зависит от режимов термообработки и составляет приблизительно 0,4 мм.

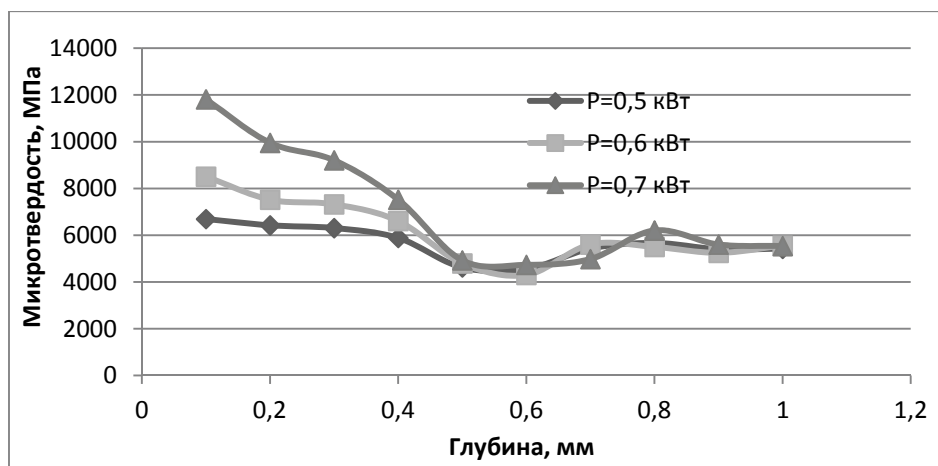


Рис. 4. Зависимость микротвердости от мощности лазера по глубине

На основании полученных данных можно сделать вывод, что применение упрочняющей лазерной технологии взамен существующей является более эффективным. Эмпирически была получена зависимость микротвердости упрочненного слоя от мощности лазера по глубине. Были определены оптимальные режимы лазерной обработки деталей типа «вал» для твердотельного лазера на основе алюмоиттриевого граната.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чирков А.М. Технология обработки и оборудование: Лазерно-плазменное наноконструирование поверхностных слоев сталей при атмосферных условиях / А.М. Чирков // Фотоника. 2008. № 4. С. 28-30.
2. Бирюков В.П. Лазерные системы для наплавки, упрочнения деталей и точного раскроя листового материала / В.П. Бирюков // Промышленный вестник. 2008. № 3. С. 88-89.

3. Югов В.И. Лазерное упрочнение в практическом применении / В.И. Югов // Ритм. 2009. №6 (44). С. 31-40.

4. Югов В.И. Лазерное термоупрочнение – высокоэффективная технология ресурсосбережения / В.И. Югов // Лазер-информ. 2008. № 23 (398). С. 1-8.

**Журавлев Михаил Михайлович** – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Mikhail M. Zhuravlev** – Postgraduate  
Department of Mechanical Engineering Technology  
Gagarin Saratov State Technical

**Решетникова Ольга Павловна** – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Olga P. Reshetnikova** – Postgraduate  
Department of Mechanical Engineering Technology  
Gagarin Saratov State Technical University

**Мирошкин Артем Григорьевич** – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Artem G. Miroshkin** – Postgraduate  
Department of Mechanical Engineering Technology  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 14.07.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 621.91.01

**Д.В. Маношин, Т.Г. Насад**

### **МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СПЛАВОВ**

*Статья посвящена исследованию методов повышения стойкости режущего инструмента из твердого сплава с покрытием. Приведен пример повышения производительности обработки и стойкости режущего инструмента за счет уменьшения растягивающих напряжений в поверхностном слое покрытия. Эффект достигается специальной отделкой поверхности режущего инструмента.*

Повышение стойкости, покрытие, режущий инструмент

**D.V. Manoshin, T.G. Nasad**

### **A METHOD FOR INCREASING THE RESISTANCE OF THE CARBIDE INSERT TO PROCESS HARD-ALLOYS**

*The paper is devoted to the study of a method to improve the endurance of carbide tools made of hard alloys. The provided example shows the increasing performance characteristics of the cutting tools by reducing the tensile stresses in the surface layer of the coating. This is achieved by means of a special surface finishing.*

Increase in resistance, coated, cutting tools

Появление первых износостойких покрытий совершило революцию в металлообработке. Даже довольно примитивное по сегодняшним меркам однослойное покрытие TiC, применявшееся на первых покрытых сменных неперегретаемых пластинах, давало эффект в повышении производительности обработки примерно на 50%.

Но одновременно выявились существенные ограничения использования инструмента с покрытиями, появилась необходимость в серьезных исследованиях в области как совершенствования технологии, так и разработки принципиально иных методов нанесения. Основным направлением совершенствования твердого сплава с покрытием была и остается борьба с хрупкостью его поверхностного слоя. Растягивающие напряжения в его поверхностном слое достигают опасной величины, чреватой зарождением трещин. Причиной образования трещин на поверхности покрытия является разница температурных коэффициентов линейного расширения основы и покрытия. При остывании пластина сжимается меньше, чем покрытие, и соответственно покрытие покрывается сетью нанотрещин [1]. В оставшихся целыми участках покрытия сохраняются остаточные растягивающие напряжения, а такие напряжения в поверхностном слое любого изделия, в том числе и твердосплавной пластины, – это потенциальная опасность появления новых трещин и усталостного разрушения при воздействии знакопеременных нагрузок.

Решением указанной проблемы является специальная отделка поверхности. Если известно, что растягивающие напряжения концентрируются в верхних слоях покрытия, то можно сделать его более толстым, а затем удалить эти слои одним из способов абразивной полировки. Вместе с удаленной с поверхности пластины частью слоя покрытия уходят до 80% остаточных напряжений.

В соответствии с разработанными технологическими принципами на твердосплавную подложку по стандартной технологии наносится покрытие типа  $\text{TiCN-Al}_2\text{O}_3\text{-TiN}$ , где каждый слой выполняет свою строго регламентированную функцию. Слой  $\text{TiCN}$  является прекрасной связкой и используется для повышения прочности адгезионной связи между инструментальным материалом и наружным слоем покрытия, а последующие слои усиливают защитные функции от различных факторов износа. Слой оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), служит для защиты твердого сплава от воздействия высокой температуры и химических видов износа. Слой нитрида титана ( $\text{TiN}$ ), обладает высокой твердостью, низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью.

После этого передняя поверхность пластины полируется по специальной технологии, в результате чего полностью снимаются слои нитрида титана и верхняя часть слоя оксида алюминия. Экспериментально доказано, что удаление всего 2...3 микрон от общей толщины покрытия дает возможность снизить уровень внутренних растягивающих напряжений в 2 раза и ликвидировать большую часть зародышей трещин [2]. Кроме того, полировка открывает наиболее плотный и износостойкий слой оксида алюминия, который наилучшим образом сопротивляется диффузионному и абразивному износу, а также предохраняет основу пластины от воздействия тепла. Гладкая передняя поверхность дает дополнительные преимущества при обработке вязких материалов – на ней практически отсутствует схватывание с обрабатываемым материалом. Задняя поверхность, сохранившая всю толщину покрытия, эффективно сопротивляется действующим на нее нагрузкам, связанным с трением.

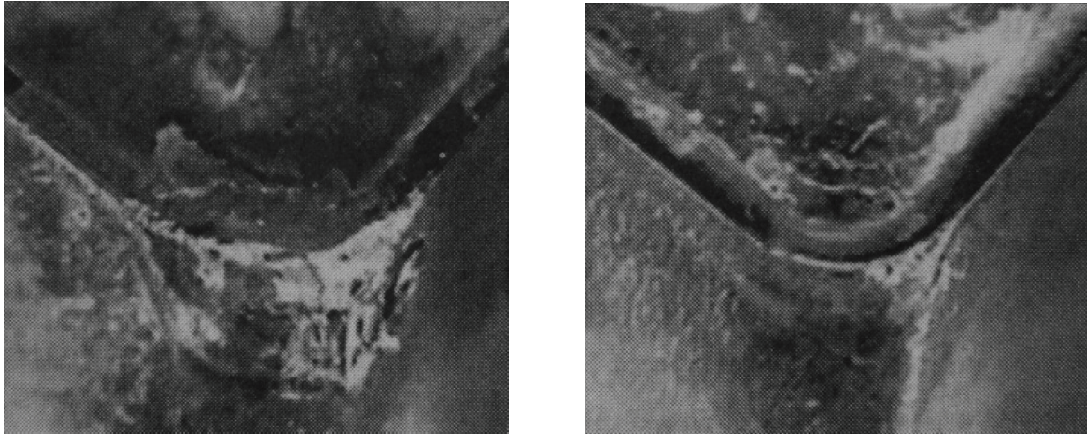
Данная технология нанесения износостойкого покрытия позволила улучшить свойства твердого сплава сразу по всем направлениям. В сравнении с пластинами с обычным покрытием данные имеют:

- большую прочность;
- высокую стойкость к выкрашиванию режущей кромки, термическим трещинам и всем видам усталостного разрушения;
- лучшую стойкость к пластической деформации;
- более высокую износостойкость;
- более стабильную и предсказуемую работу в неблагоприятных условиях [1].

У пластин с пониженным уровнем внутренних напряжений в покрытиях процесс изнашивания имеет более равномерный характер, они показывают большую надежность, и тем самым достигается дополнительная экономия за счет сокращения непредвиденных простоев. Всё это значительно расширяет область применения покрытия, делая его практически универсальным, что позволяет обрабатывать как обычные стали, так и более сложные труднообрабатываемые материалы, а также использовать их как при черновой, так и при чистовой обработке. Данные сплавы могут быть созданы для использования в широком диапазоне скоростей резания, при этом превышают показатели сплава со стандартным покрытием на 10% по скорости резания и до 30 % по уровню подачи.

На рисунок представлены макрофотографии режущих кромок твердосплавной пластины после обработки 330 деталей с покрытием  $\text{TiCN-Al}_2\text{O}_3\text{-TiN}$ , нанесенным по традиционной технологии (а) и с полировкой по специальной технологии (б). Как видно, в последнем случае покрытие заметно снижает интенсивность изнашивания инструмента [1].

Результаты исследований показывают убедительное преимущество новой технологии обработки покрытия и подтверждают перспективность дальнейших исследований в этой области.



а б  
Твердосплавные пластины с покрытием  $TiCN-Al_2O_3-TiN$  после продольного точения 330 деталей из конструкционной стали (НВ 300) при  $v=300$  м/мин,  $s=0,4$  мм/об,  $t=3$  мм:  
а – стандартное покрытие; б – покрытие после полировки

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев С.Н. Метод повышения стойкости режущего инструмента / С.Н. Григорьев. М.: Машиностроение, 2009. 368 с.
2. Поляк М.С. Технология упрочнения: Технологические методы упрочнения / М.С. Поляк. М.: Машиностроение, 1995. Т. 1. 685 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 of Electro-chemical and Electro-physical Processing Methods Technology  
Engels Institute of Technology  
(Part) Gagarin Saratov State Technical University

**Насад Татьяна Геннадьевна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технология электрофизических и электрохимических методов обработки» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Tatiana G. Nasad** – Dr.Sc., Professor  
Head: Department of Electro-chemical and Electro-physical Processing Methods Technology  
Engels Institute of Technology  
(Part) Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.08.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 621.91.01

**Д.В. Маношин, Т.Г. Насад**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ШЕРОХОВАТОСТИ И ВЕЛИЧИНЫ УСАДКИ СТРУЖКИ ОТ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО СПЛАВА 36НХТЮ**

*Приводятся экспериментальные данные обработки прецизионного сплава 36НХТЮ. Выведены зависимости получаемой шероховатости поверхности от режимов резания для данного сплава.*

Прецизионный сплав, качество поверхности, усадка стружки

D.V. Manoshin, T.G. Nasad

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE ROUGHNESS DEPENDENCE AND CHIP SHRINKAGE ON THE TREATMENT REGIME FOR PRECISION 36HXTIO ALLOYS**

*Experimental data for processing the precision 36HXTIO alloy are given. The derived dependence is based on the obtained surface roughness of the cutting for the given alloy.*

Precision alloy, quality of surface

Развитие и совершенствование потребляющих отраслей промышленности приводит к усложнению и повышению требований, предъявляемых к деталям. Разрабатываются новые специальные стали и сплавы, обладающие специфическими физико-механическими свойствами. Но несмотря на более чем 40-летний опыт изготовления изделий из труднообрабатываемых материалов, машиностроительные заводы до сих пор испытывают значительные трудности при их обработке [3]. К таким материалам относится сплав 36НХТЮ. Особое внимание при обработке деталей из данного сплава уделяется точности и высокому качеству поверхности, что сложно достичь при механической обработке из-за повышенной пластичности и низкой теплопроводности. Эти факторы способствуют быстрому износу режущего инструмента, а это, в свою очередь, изменяет силы резания, шероховатость, температуру резания, что отрицательно сказывается на чистоте поверхности и точности деталей.

К одному 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. Поэтому разработка рациональных режимов резания и оптимальных конструкций инструмента для различных операций механической обработки из труднообрабатываемых сталей и сплавов является весьма актуальной задачей.

Поставленная задача заключалась в совершенствовании обработки труднообрабатываемых материалов на примере 36НХТЮ в области повышения качества обработанной поверхности, точности деталей за счет использования оптимальных режимов обработки.

Для достижения этой цели в работе сформулированы и решаются следующие основные задачи:

- экспериментальным методом определить зависимость шероховатости от режимов обработки для черновых и чистовых операций;
- исследовать процесс стружкообразования для сплава 36НХТЮ для обоснования формирования качества поверхности.

Для этого была проведена серия экспериментов, которая проводилась на токарно-револьверном центре с ЧПУ SL-20HE (рис. 1). В качестве экспериментального материала был использован прецизионный сплав 36НХТЮ. Спектральный анализ на приборе «NITON XLt» (рис. 2) представленного образца показал следующий химический состав: Ni 35,63; Fe 46,17; Mn 1,07; Cn 12,87; Ti 3,61, что соответствует марке материала 36НХТЮ [3].



Рис. 1. Токарно-револьверный центр с ЧПУ Модель SL-20HE, производство фирмы HAAS AUTOMATION Inc.





Рис. 2. Прибор «NITON XLt»

Для получения нужных свойств заготовка подвергалась термической обработке по технологическому процессу закалки заготовок и полос для чувствительных элементов деталей из сплавов 36НХТЮ; 36НХТЮ-Ш; 36НХТЮ5М; 37НКВТЮ-ВИ. Замеры твердости образца показали 6HRC. В качестве режущего инструмента использовались твердосплавные пластины для обработки жаропрочных сплавов. Материал пластины был определен по спектральному анализу, который показал: WC  $90.68 \pm 0.87$ ; Co  $5.71 \pm 0.29$ ; Cu  $0.53 \pm 0.15$ ; Cr  $0.64 \pm 0.29$ ; Ti  $1.2 \pm 0.57$ . Для увеличения стойкости на пластину было нанесено покрытие TiN толщиной 3 мкм.

Для определения общей зависимости шероховатости от скорости резания был проведен однофакторный эксперимент.

Опыты проходили при следующих режимах:

Скорость резания от 10 до 170 м/мин.

Подача 0,17 мм/об.

Глубина резания 1,2 мм на сторону.

Эксперименты показали, что имеются два экстремальных значения при  $V=50$  и  $V=70$  (рис. 3).

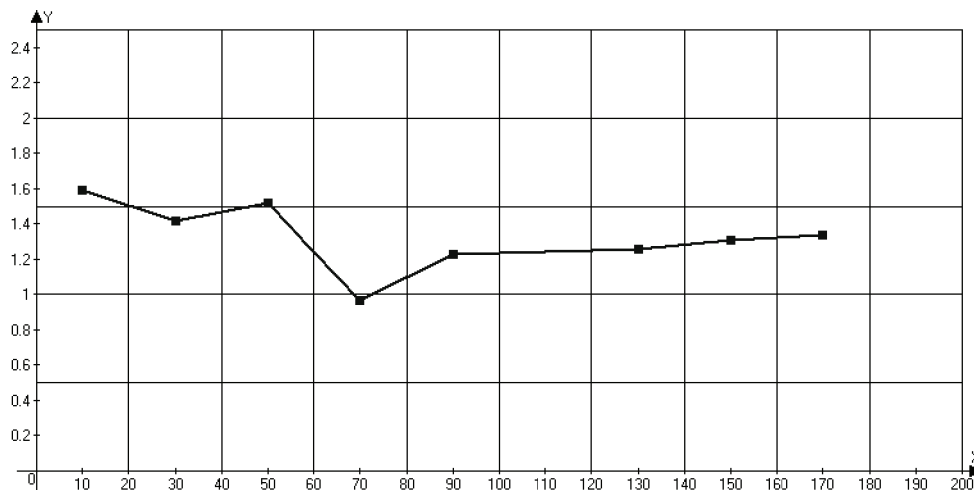


Рис. 3. График зависимости шероховатости обрабатываемой поверхности от скорости резания при однофакторном эксперименте

Для подробного изучения были выбраны два участка со скоростями резания от 70 до 170 м/мин для чистового точения и от 50 до 70 м/мин для чернового. Экспериментальные исследования включали проведение нескольких серий экспериментов по формуле ПФЭ<sup>3</sup>. Режимы обработки приведены в табл. 1, 2. Исходя из этих данных, были получены две математические модели: для чистовой обработки (1) и черновой обработки сплава (2):

$$(1)$$

Таблица 1

Режимы резания при чистовой обработке сплава 36НХТЮ

Скорость резания $V$	70 м/мин	170 м/мин
Продольная подача $S$	0,04 мм/об.	0,17 мм/об.
Глубина резания $t$	0,15 мм	1,2 мм

Таблица 2

Режимы резания при чистовой обработке сплава 36НХТЮ

Скорость резания $V$	50 м/мин	70 м/мин
Продольная подача $S$	0,17 мм/об.	0,55 мм/об.
Глубина резания $t$	1,2 мм	5,5 мм

Данные зависимости показали, что наибольшее негативное влияние на формирование микронеровностей поверхности при чистовых операциях оказывает подача. Данная зависимость монотонна как при чистовых, так и при черновых операциях (рис. 4). Глубина резания, наоборот, имеет экстремальный характер: при увеличении в пределах от 0,04 до 1 мм/об. высота микронеровностей поверхности уменьшается. При работе с большими глубинами резания свыше 1.2 мм/об. высота микронеровностей увеличивается (рис. 5).

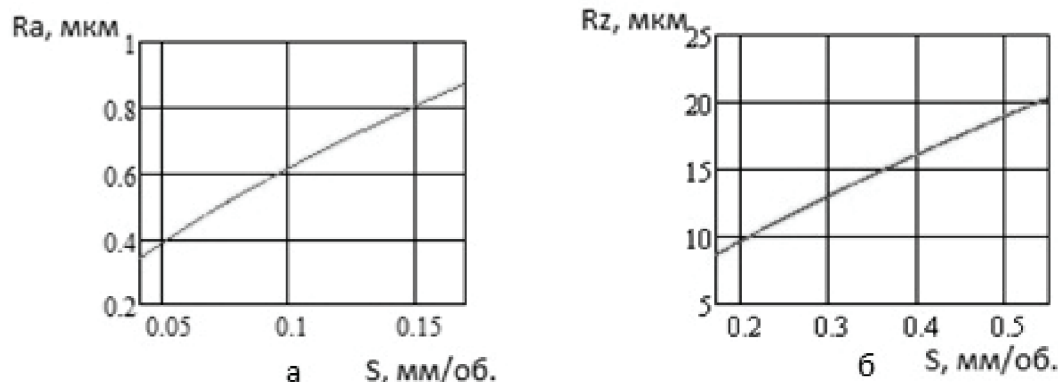


Рис. 4. Зависимость шероховатости от подачи: а – при чистовом точении  $V=70$   $t=1,2$ ; б – при черновом точении  $V=70$   $t=1,2$

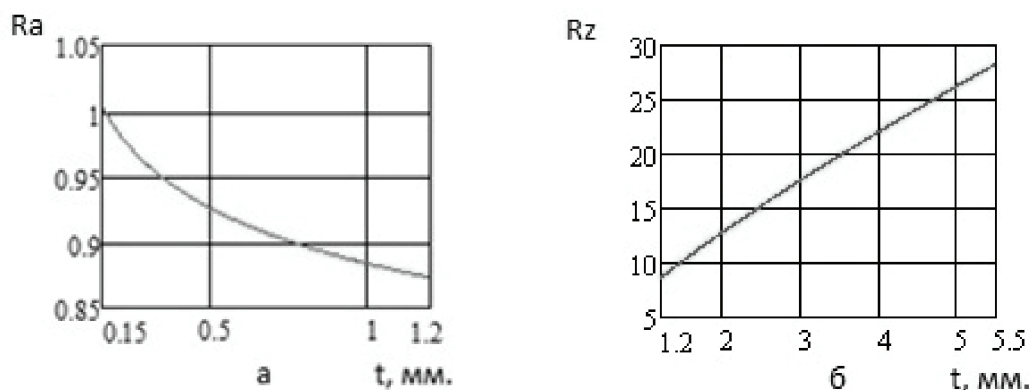


Рис. 5. Зависимость шероховатости от глубины резания: а – при чистовом точении  $V=70$   $s=0,17$ ; б – при черновом точении  $V=70$   $s=0,17$

В ходе проведения эксперимента шероховатость обработанной поверхности образца первоначально определялась на двойном микроскопе МИС-11, после чего образцы были измерены на портативном измерителе шероховатости Time TR 220. Погрешность измерения прибора в пределах 5%. Далее на универсальном профилометре-профилографе были сняты профилограммы поверхности образцов (рис. 6, 7).

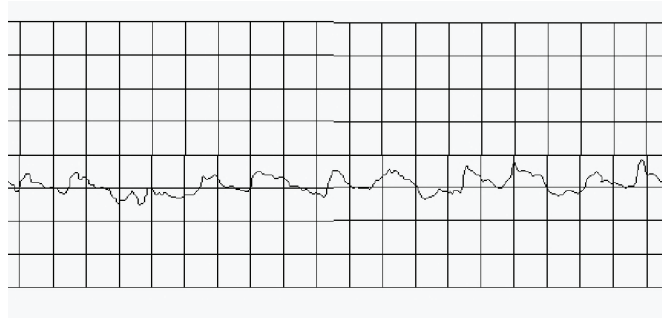


Рис. 6. Профилограмма точеной поверхности (при  $V=70$  ;  $t=0,15$  ;  $S=0,04$ )  $Ra=0,393...0,456$

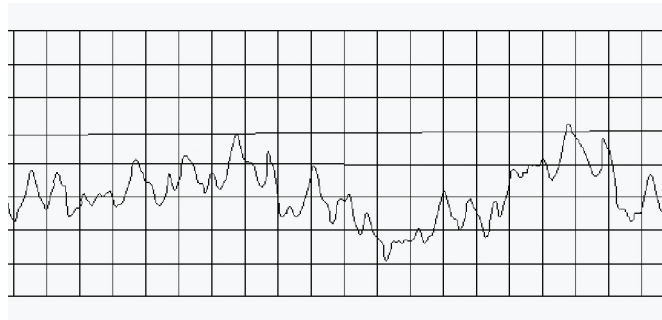


Рис. 7. Профилограмма точеной поверхности (при  $V=170$  ;  $t=0,15$  ;  $S=0,04$ )  $Ra=0,478...0,736$

Исследование процесса резания невозможно без исследования коэффициента усадки стружки, поскольку он показывает существо самого процесса резания, его физику. Определение  $K_a$  производилось экспериментально, так как отсутствуют надежные теоретические зависимости для определения коэффициента усадки в зависимости от режимов обработки. Величина коэффициента усадки стружки зависит от свойств обрабатываемого материала, геометрии инструмента и режимов резания [2].

Для определения величины усадки использовался весовой метод (3). В качестве обрабатываемого материала применялся сплав 36НХТЮ.

$$\text{---}, \tag{3}$$

где  $G$  – масса стружки, мг;  $S$  – подача, мм/об.;  $\rho$  – плотность обрабатываемого материала;  $t$  – глубина резания, мм.

Результаты опытов представлены на рис. 8.

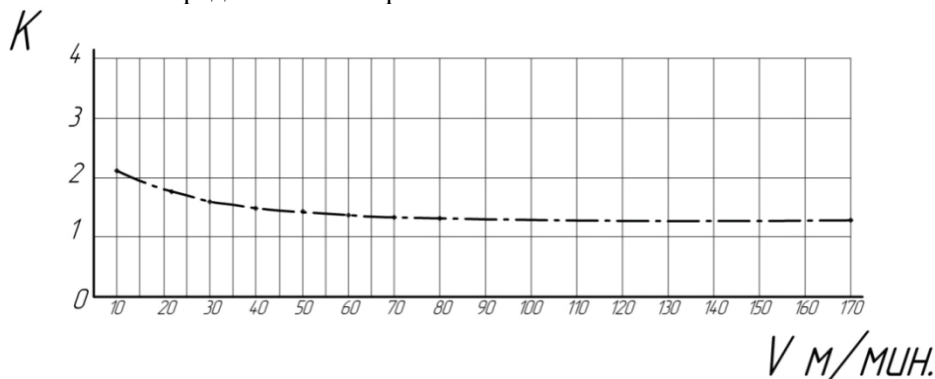


Рис. 8. Зависимость коэффициента усадки стружки от скорости резания при обработке сплава 36НХТЮ

Данные результаты показывают, что в пределах скорости резания от 10 до 70 м/мин происходит уменьшение коэффициента усадки стружки, а при скоростях резания свыше 70 м/мин до 170 м/мин изменения практически не происходит, поэтому для дальнейшего исследования был выбран участок 50-70 м/мин. Режимы резания использовались по табл. 2. Из опытов была получена математическая модель, показывающая зависимость коэффициента усадки стружки от режимов обработки (4). В ходе исследований было определено, что основным фактором, влияющим на рост усадки стружки, является степень изношенности режущего инструмента.

$$\tag{4}$$

На основании проведенных многофакторных экспериментов получены зависимости шероховатости от режимов резания, которые позволяют рассчитать оптимальные режимы при черновой и чистовой обработке прецизионных материалов. Данные модели позволяют получить заданную шероховатость поверхности при максимальной производительности процесса.

#### 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.
3. 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.

**Насад Татьяна Геннадьевна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технология электрофизических и электрохимических методов обработки» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Dmitriy V. Manoshin** – Postgraduate  
Department of Electro-chemical and Electro-physical Processing Methods Technology  
Engels Institute of Technology  
(Part) Gagarin Saratov State Technical University

**Tatiana G. Nasad** – Dr.Sc., Professor  
Head: Department of Electro-chemical and Electro-physical Processing Methods Technology  
Engels Institute of Technology  
(Part) Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.08.12, принята к опубликованию 06.11.12*

## ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.039:62-622

**Р.З. Аминов, А.Н. Егоров, В.Е. Юрин**

### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САТЕЛЛИТНОЙ ТУРБИНЫ**

*Рассмотрены схемы энергоблока АЭС с использованием сателлитной турбоустановки с пароводородным перегревом пара, а также АЭС с использованием автономной водородной энергоустановки. Произведена сравнительная оценка эффективности рассмотренных схем.*

Водородный перегрев, степень сухости, влажно-паровой цикл, высокотемпературный водородный пар, сателлитная турбина, водород-кислородный парогенератор, автономная водородная турбина

**R.Z. Aminov, A.N. Egorov, V.E. Yurin**

### **COMPARATIVE EVALUATION OF THE NPP USING THE SATELLITE TURBINE**

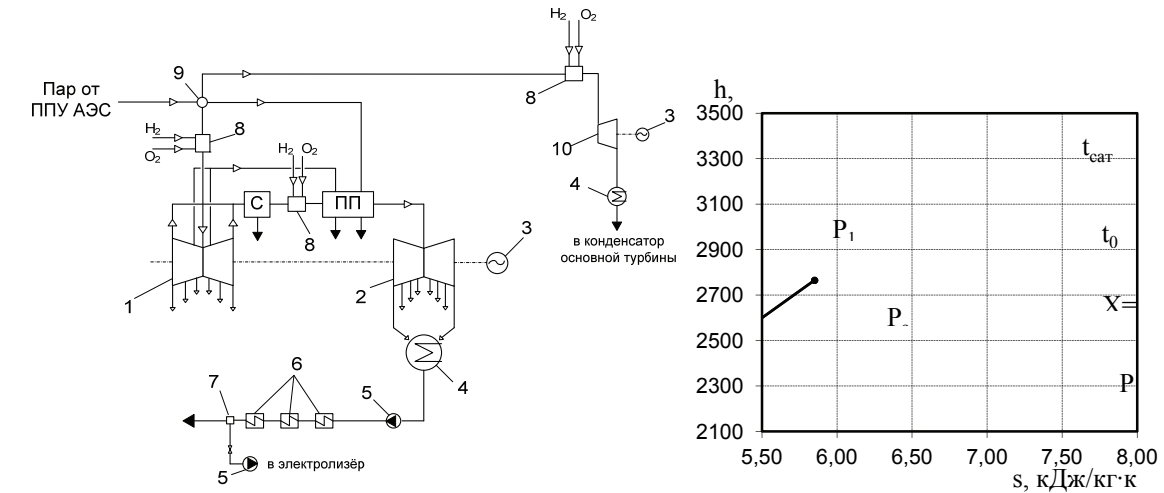
*The article considers the NPP scheme using the satellite turbine with steam superheating system, as well as the nuclear power plant with an autonomous hydrogen power plant. A comparative evaluation of the considered schemes is presented.*

Hydrogen, oxygen, hydrogen overheating, dryness, wet-steam cycle, high-hydrogen pairs, satellite a turbine, hydrogen-oxygen steam generator, standalone hydrogen turbine

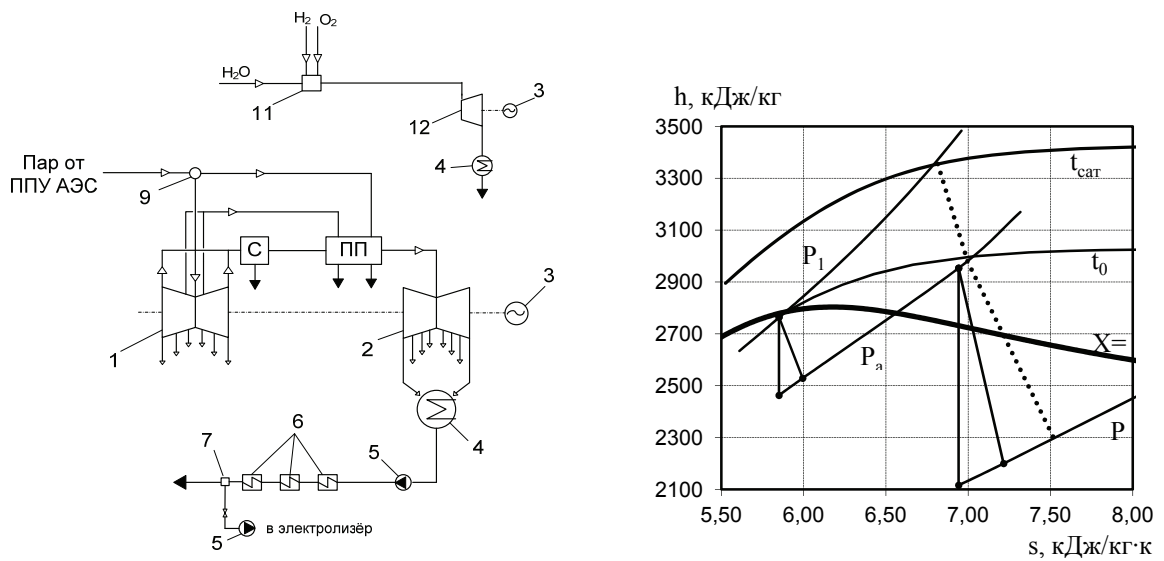
В настоящее время для повышения мощности энергоблоков АЭС используются заложенные при проектировании перегрузочные возможности основного оборудования. В этом случае энергоблок работает на повышенной мощности весь период до следующего планового останова. Однако повышение мощности блока АЭС за счет форсирования основной турбоустановки имеет ограничения. Например, на турбине К-1000-60/1500 возможно увеличение мощности на величину, не превышающую 10% от номинальной мощности. Кроме того, такой способ увеличения мощности требует дополнительных мероприятий по модернизации проточной части турбин [1]. Очевидно, что такой способ не направлен на повышение маневренных возможностей, а ставит своей целью повышение коэффициента использования установленной мощности (КИУМ).

Одним из способов повышения маневренности энергоблока влажно-паровой АЭС при одновременном сохранении постоянной загрузки реакторной установки может послужить наработка водорода во внепиковый период и производство на его основе электроэнергии в дополнительной турбоустановке в период максимума электропотребления [2]. Дополнительная турбоустановка представляет собой паровую турбину (сателлитную или автономную по отношению к основной турбоустановке) относительно небольшой мощности, генератор которой синхронизирован с генератором основной турбоустановки для выдачи дополнительной мощности в сеть.

Возможные схемы реализации указанного способа для энергоблока влажно-паровой АЭС представлены на рис 1. На этом рисунке приняты следующие условные обозначения: С – сепаратор; ПП – промежуточный пароперегреватель; 1 и 2 – цилиндры высокого и низкого давления соответственно; 3 – генератор; 4 – конденсатор; 5 – конденсатный насос; 6 – регенеративные подогреватели низкого давления; 7 – узел отбора добавленной доли рабочего тела при промежуточном перегреве; 8 – узел пароводородного перегрева; 9 – устройство парораспределения; 10 – сателлитная турбина; 11 – водород-кислородный парогенератор; 12 – автономная водородная турбина.



а



б

Рис. 1. Схемы и рабочие процессы энергоблока АЭС: а – с перегревом пара перед сателлитной турбиной и цилиндром высокого давления основной турбины; б – с использованием автономной водородной энергоустановки  
 — — процесс расширения в основной турбине  
 - - - - процесс расширения в сателлитной турбине  
 ..... — процесс расширения в автономной водородной турбине

При таком использовании дополнительной турбины расход теплоносителя через реакторную установку остается неизменным, что является необходимым условием сохранения надежной работы всего энергоблока. Изменение расхода рабочего тела через проточную часть основной турбоустановки также относительно невелико. Выработка пиковой мощности осуществляется в дополнительной турбине, пуск или останов которой независимы от основной турбоустановки энергоблока.

Рабочим телом для сателлитной турбины (рис. 1а) служит вытесненный пар основной турбины, для получения которого применяется паро-водородный перегрев пара после сепаратора основной турбины (рис. 1а). Процесс сжигания водорода в кислороде сопровождается постоянным охлаждением водородной камеры сгорания и перегревом основного потока пара, поступающего из сепаратора основной турбоустановки, который выступает в роли охлаждающей среды [3]. Кроме того, возможно повышение параметров пара перед сателлитной турбиной за счет его перегрева в паро-водородном перегревателе. Водород-кислородный парогенератор, приведенный в [3], позволяет перегревать основной поток пара до температуры, соответствующей температуре пара на входе в цилиндр низкого давления основной турбины. В результате этого соответствующие отборы пара на ступени промежуточного пароперегревателя перекрываются, а эквивалентный этим отборам вытесненный пар сраба-

тывает в сателлитной турбине, вырабатывая дополнительную мощность. При этом эквивалентный расход высокотемпературного водородного пара, полученного в водород-кислородном парогенераторе, смешиваясь с основным потоком пара, поступает в цилиндр низкого давления основной турбоустановки. Кроме того, по первой схеме часть водорода направляется в паро-водородный перегреватель для повышения мощности основной турбины посредством увеличения температуры пара перед ЦВД.

По второй схеме (рис. 1б) рабочим телом для автономной водородной турбины служит пар, генерируемый в водород-кислородном парогенераторе [4], Охлаждение камеры сгорания осуществляется балластировочной водой, при этом изменением ее расхода регулируется температура пара на выходе из водород-кислородного парогенератора.

При использовании паро-водородного перегрева пара на АЭС существует ряд ограничений: расход водорода, допустимая температура пара перед ЦВД, допустимое увеличение расхода пара через проточную часть турбины. Проведем расчеты термодинамической эффективности паро-водородного цикла на базе энергоблока АЭС для приведенных выше схем при следующих условиях: продолжительность внепикового периода электрических нагрузок  $\tau = 7$  ч; удельный расход электроэнергии на производство 1 кг водорода  $\mathcal{E}_{исп}^{вод} = 56 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{кг}$ ; продолжительность пикового периода электрических нагрузок в энергосистеме  $t = 4$  ч; располагаемая внепиковая мощность – 11-40% от номинальной мощности энергоблока. В номинальном режиме работы абсолютный внутренний КПД и мощность турбоустановки К-1000-60/1500 составляют 36,36% и 1000 МВт соответственно.

Таблица 1

Исходные данные для сравнительной оценки термодинамической эффектности вариантов

Располагаемая внепиковая мощность	110 МВт (11%)	400 МВт (40%)
Количество потреблённой внепиковой электроэнергии	$\mathcal{E}_{исп} = 770 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$	$\mathcal{E}_{исп} = 2800 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$
Количество водорода, выработанное во внепиковые часы электрических нагрузок	$M_{H_2}^{выр} = 12397 \text{ кг}$	$M_{H_2}^{выр} = 45125 \text{ кг}$
Располагаемый массовый расход водорода в часы пика электрических нагрузок	$m_{H_2} = 0,86 \text{ кг} / \text{с}$	$m_{H_2} = 3,13 \text{ кг} / \text{с}$
Объём водорода при хранении его под давлением 4,2 МПа	$V_{H_2}^{выр} = 3803 \text{ м}^3$	$V_{H_2}^{выр} = 13842 \text{ м}^3$

При этом мощность сателлитной турбины по первой схеме (рис. 1а) составляет 120,3 МВт, а по второй схеме (рис. 1б) мощность автономной водородной турбины изменяется в зависимости от расхода пара, генерируемого в водород-кислородном парогенераторе.

На рис. 2 представлена зависимость общей электрической мощности и КПД цикла от расхода водорода, используемого для водородного перегрева и генерации пара в цикле АЭС.

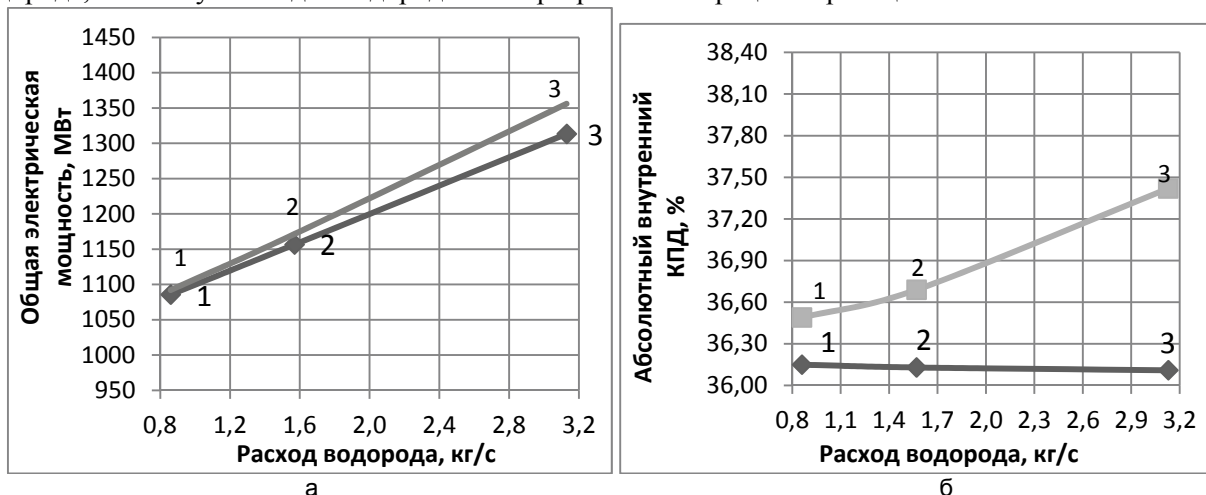


Рис. 2. Зависимости показателей эффективности АЭС от расхода водорода:

а – зависимость общей электрической мощности от расхода водорода в цикле; б – зависимость абсолютного внутреннего КПД цикла от расхода водорода в цикле.

— — схема с перегревом пара перед сателлитной турбиной и ЦВД

----- схема с автономной водородной турбиной

1 – располагаемая внепиковая мощность 11%

2 – располагаемая внепиковая мощность 20%

3 – располагаемая внепиковая мощность 40%

Как видно из рис. 2, мощность и КПД цикла по 1-й схеме (рис. 1а) выше, чем по второй (рис. 1б). Это можно объяснить тем, что в водород-кислородном парогенераторе часть энергии сжигания водорода тратится на испарение балластировочной воды, а также на привод насосов, осуществляющих подачу балластировочной воды в камеру сгорания. Для этой схемы абсолютный внутренний КПД паро-водородного цикла с ростом расхода водорода уменьшается в связи с тем, что с увеличением количества сжигаемого водорода растёт расход балластировочной воды, приводящий к увеличению расхода энергии на ее подачу в камеру сгорания, что приводит к снижению термодинамической эффективности цикла [4]. Увеличение температуры пара перед ЦВД в схеме на рис. 1а приводит к увеличению КПД основной турбины и абсолютного внутреннего КПД паро-водородного цикла.

В табл. 2 представлены расчетные показатели термодинамической эффективности приведенных выше схем энергоблока АЭС для различных значений располагаемой внепиковой мощности.

Таблица 2

Показатели термодинамической эффективности схем энергоблока АЭС

Показатель	1 схема (рис. 1 а)	2 схема (рис. 2 б)	1 схема (рис. 1 а)	2 схема (рис. 2 б)	1 схема (рис. 1 а)	2 схема (рис. 2 б)
Располагаемая для производства водорода мощность, %	11		20		40	
Расход водорода, кг/с	0,86		1,57		3,13	
Общая электрическая мощность, МВт	1095	1086	1171	1157	1356	1313
Температура пара перед ЦВД, °С	276	276	304	276	450	276
Увеличение расхода пара перед ЦВД, %	0	0	0,39	0	1,69	0
Абсолютный внутренний КПД, %	36,49	36,15	36,69	36,13	37,42	36,11

В сравнении с автономной водородной турбиной использование сателлитной турбины и водородного перегрева пара в схеме энергоблока АЭС также имеет ряд недостатков: снижение безопасности станции в связи с взрывоопасностью водорода; возникновение переменных режимов работы основной турбины.

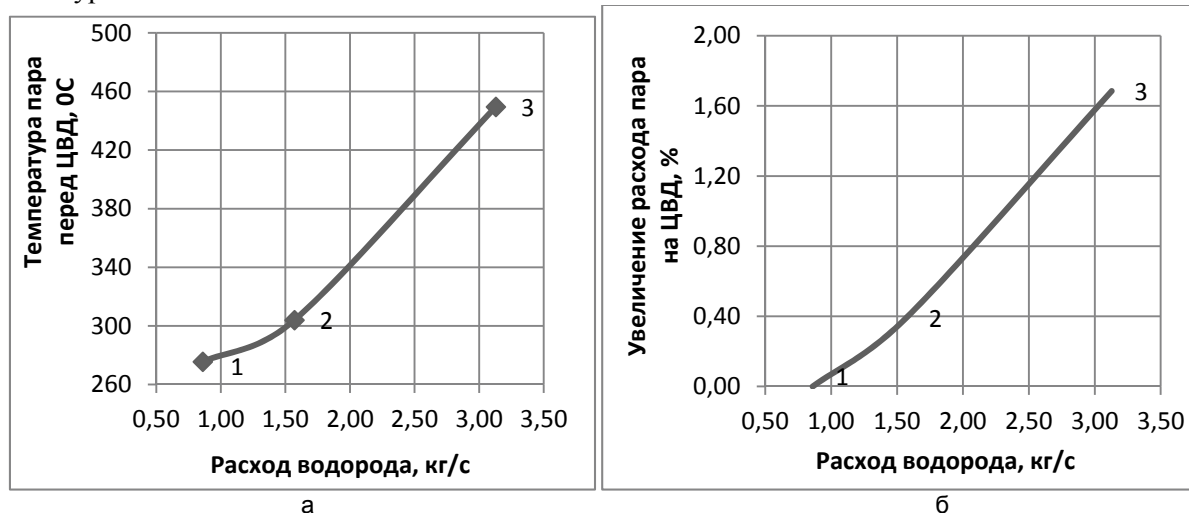


Рис. 3. Зависимость параметров пара перед ЦВД основной турбины от расхода водорода для схемы рис. 1 а:

а – зависимость температуры пара перед ЦВД основной турбины от расхода водорода;

б – зависимость увеличения расхода пара перед ЦВД основной турбины от расхода водорода.

1 – располагаемая внепиковая мощность 11%

2 – располагаемая внепиковая мощность 20%

3 – располагаемая внепиковая мощность 40%

Как видно из рис. 3а, максимальная температура пара перед ЦВД не превышает 460°С, что существенно ниже допустимой температуры металла ЦВД основной турбоустановки. Однако реали-



зация схемы на рис. 1а подразумевает работу энергоблока АЭС в переменном режиме, что приведет к возникновению малоциклового усталости металла ЦВД при циклических изменениях температуры пара. Из рис. 3б видно, что максимальное увеличение расхода пара перед ЦВД основной турбины незначительно и допустимо по условиям надежности ее работы.

### Выводы

1. Проведена сравнительная оценка термодинамической эффективности АЭС с использованием сателлитной турбины с водородным перегревом пара. В качестве критерия эффективности рассчитывался абсолютный внутренний КПД комбинированного паро-водородного цикла на базе паротурбинной установки К-1000-60/1500.

2. Как показывают расчеты, с точки зрения термодинамики эффективнее оказывается работа энергоблока АЭС с использованием сателлитной турбины с водородным перегревом пара. В этом случае достигается максимальный абсолютный внутренний КПД паро-водородного цикла и пиковая мощность энергоблока. Кроме того, с повышением температуры пара перед цилиндром высокого давления увеличивается КПД основной турбины. Использование автономной водородной турбины менее эффективно, так как для генерации пара используется водород-кислородный парогенератор с водяным охлаждением камеры сгорания, в котором часть энергии сжигания водорода тратится на испарение охлаждающей воды и привод насосов, осуществляющих подачу этой воды в камеру сгорания водород-кислородного парогенератора.

### ЛИТЕРАТУРА

1. АЭС с ВВЭР: Режимы, характеристики, эффективность / Р.З. Аминов, В.А. Хрусталева, А.С. Духовенский, А.И. Осадчий. М.: Энергоатомиздат, 1990. 264 с.
2. Решение о выдаче патента по заявке №2011123255/07, МПК – G 21 D 01/00, МПК – F 01 K 23/10, МПК – G 21 D 05/08, МПК – G 21 D 03/08. Турбинная установка атомной электростанции (варианты) / заявители и патентообладатели Аминов Р.З., Байрамов А.Н., Егоров А.Н. с приоритетом от 08.06.2011
3. Пат. 2427048 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> F 22B 1/26, G 21D5/16, F 01K3/18. Система сжигания водорода для паро-водородного перегрева свежего пара в цикле атомной электрической станции / Аминов Р.З., Байрамов А.Н.; заявители и патентообладатели Аминов Р.З., Байрамов А.Н. № 2009117039/06; заявл. 04.05.2009; опублик. 20.08.2011, Бюл. № 23. 8 с.
4. Мальшенко С.П. Исследования и разработки ОИВТ РАН в области технологий водородной энергетики / С.П. Мальшенко // Альтернативная энергетика и экология. 2011 №3 (95). С. 10-34.

**Аминов Рашид Зарифович** –  
доктор технических наук, профессор кафедры  
«Тепловые электрические станции»  
Саратовского государственного технического  
университета имени Гагарина Ю.А.

**Rashid Z. Aminov** –  
Dr. Sc., Professor  
Head: Department of Thermal Power Plants  
Gagarin Saratov State Technical University

**Егоров Александр Николаевич** –  
младший научный сотрудник  
отдела энергетических проблем Саратовского  
научного центра Российской академии наук

**Alexander N. Egorov** –  
Junior Researcher  
Division of Power Generation Challenges,  
Research Center of the Russian Academy  
of Sciences in Saratov

**Юрин Валерий Евгеньевич** –  
инженер отдела энергетических проблем  
Саратовского научного центра  
Российской академии наук

**Valeriy E. Yurin** –  
Engineer  
Division of Power Generation Challenges  
Research Center of the Russian Academy  
of Sciences in Saratov

*Статья поступила в редакцию 07.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

**Ю.В. Коновалов**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПУСКА  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

*Приведены результаты исследований пуска электроприводов с двигателями переменного тока при различных условиях в программной среде MATLAB. Выполнена оценка активной и реактивной энергии двигателя, а также тепловой энергии ротора во время пуска с различными параметрами.*

Исследование пуска, двигатели переменного тока, MATLAB, активная энергия, реактивная энергия, тепловая энергия ротора

**Yu.V. Konovalov**

**MATHEMATICAL MODELLING OF THE START-UP PROCESS  
OF ELECTRIC MOTORS WITH THE ALTERNATING CURRENT**

*The results of the start-up research for the electric drives with alternating current engines are the result of the various conditions in the MATLAB program. Estimation of the active and jet energy of an engine, and also thermal energy of a rotor during the start-up with various parameters is executed.*

Start-up research, alternating current engines, MATLAB, active energy, jet energy, rotor thermal energy

Пуск электродвигателей как переменного, так и постоянного тока сопряжён со значительными затратами электроэнергии за короткий промежуток времени. Часть этой энергии выделяется в качестве тепла при прохождении пусковых токов по обмоткам электродвигателей (ЭД). Нагрев двигателей при этом вносит ограничения на допустимое количество пусков в сутки мощных ЭД, что необходимо учитывать при оптимизации параметров электроснабжения предприятий при использовании ЭД в качестве потребителей регуляторов [1]. При наличии на предприятии существенной двигательной нагрузки требуется оценить воздействие пусковых режимов как на сам электромеханический комплекс с ЭД, так и на элементы системы электроснабжения [1-4].

Проведение натурных экспериментов при различных условиях (уровнях напряжения и нагрузки на валу), особенно на двигателях, участвующих в производственном процессе, является затруднительным. Выполним исследования с использованием программного пакета MATLAB. Блок-схема для моделирования режимов асинхронного двигателя (АД) в программной среде MATLAB представлена на рис. 1. Данная схема позволяет подключать исследуемый двигатель к трёхфазной системе напряжения с заданными параметрами и в определённый момент времени; задавать нагрузку на валу; вычислять активную и реактивную мощности трёхфазной цепи статора; осциллографировать и измерять параметры АД с помощью блока измерения переменных электрической машины; вычислять и осциллографировать действующие значения токов статора и ротора; вычислять значение квадрата тока ротора ( $I_2^2$ ) для дальнейшей оценки теплового воздействия, а также выполнять построение функций всех перечисленных величин на плоттере с возможностью дальнейшей их обработки. При моделировании выбран метод вычисления одношаговый, использующий модифицированную формулу Розенброка второго порядка с минимальным и максимальным шагом 0,0001 и 0,001 соответственно. Данные параметры решения позволяют получить адекватные реальным условиям результаты, приемлемое время моделирования и оптимальное использование памяти вычислительной машины.

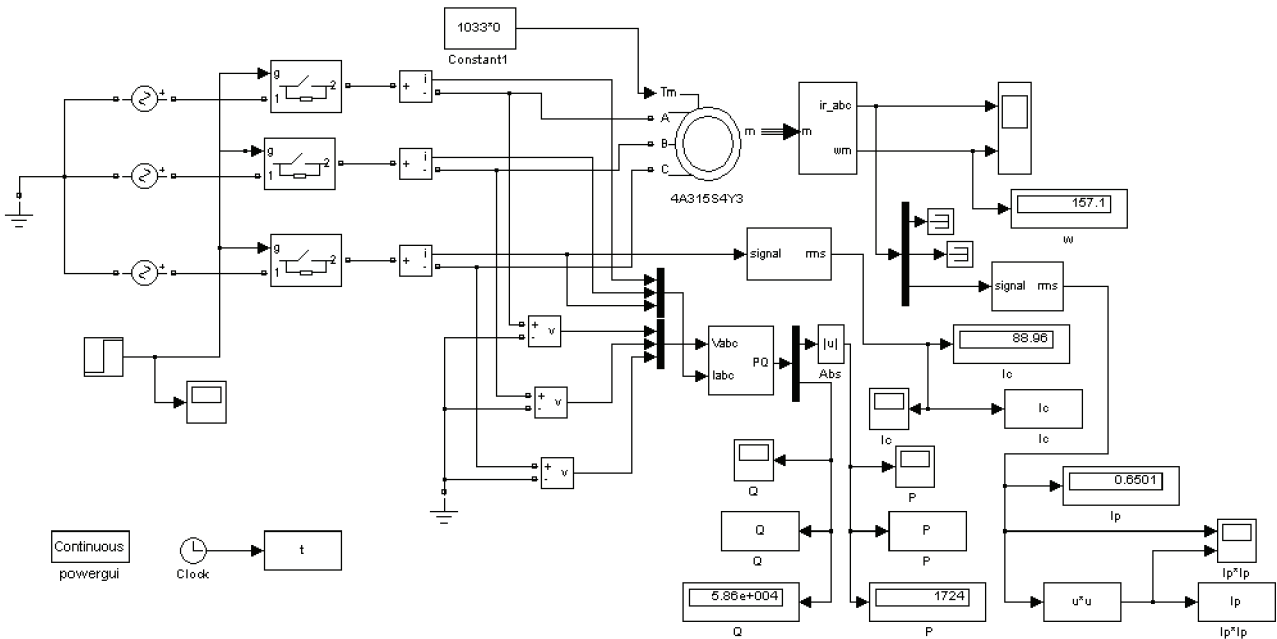


Рис. 1. Блок-схема моделирования режимов АД в программной среде MATLAB

Результаты измерений параметров пусковых режимов АД мощностью 160 кВт в режиме холостого хода (XX) представлены в табл. 1, где приняты следующие обозначения:

$U$  – напряжение на обмотках АД в относительных единицах (о.е.);  $I_{\Pi}$  – максимальное значение действующего тока статора за время пуска, А;  $I_{\Pi*} = I_{\Pi} / I_N$  – максимальное значение действующего тока статора за время пуска, о.е.;  $I_N$  – номинальное значение тока статора;  $I_0$  – ток статора на холостом ходу в установившемся режиме  $I_0 = I_{C\text{ уCT}}$ , А;  $I_{0*} = I_0 / I_N$  – ток статора на холостом ходу, о.е.;  $t_{\Pi}$  – длительность пуска, с;  $t_{\Pi*} = t_{\Pi} / T_J$  – длительность пуска, о.е.;  $T_J$  – механическая постоянная времени агрегата двигатель-механизм.

Таблица 1

Параметры пусковых режимов АД мощностью 160 кВт на холостом ходу при различных уровнях напряжения на статоре

$U$ , о.е.	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,2	1,3
$I_{\Pi}$ , А	511	767	1023	1280	1536	1800	2052	2310	<b>2571</b>	2832	3093	3355
$I_{\Pi*}$ , о.е.	1,79	2,68	3,58	4,48	5,38	6,3	7,18	8,09	<b>9,0</b>	9,9	10,83	11,74
$I_0$ , А	20,87	27,63	37,97	44,64	53,51	62,38	71,28	80,17	<b>89,07</b>	97,96	106,9	115,8
$I_{0*}$ , %	7,3	9,7	13,3	15,6	18,7	21,8	21,8	25	<b>31,2</b>	34,3	37,4	40,5
$t_{\Pi}$ , с	8,94	3,92	2,22	1,43	1,01	0,80	0,64	0,52	<b>0,47</b>	0,40	0,38	0,34
$t_{\Pi*}$ , о.е.	19,02	8,34	4,72	3,04	2,15	1,70	1,36	1,11	<b>1</b>	0,85	0,81	0,72

Как известно и как видно из табл. 1, при уменьшении напряжения уменьшается кратность пускового тока, но значительно возрастает время пуска. Протекание повышенных токов по обмоткам двигателя приводит к потерям энергии и нагреву. Оценим потери активной энергии в роторе, а также активную и реактивную энергию, которая потребляется электродвигателем за время пуска в режиме XX при различных уровнях напряжения.

Для вычисления энергии полученную при осциллографировании функцию изменения активной и реактивной мощности представим в виде полинома, а затем этот полином проинтегрируем по времени, где нижним пределом будет начало пуска  $t = 0$ , а верхним пределом – время окончания процесса пуска  $t_{\Pi}$  в соответствии с табл. 1. Потери активной энергии в роторе будем оценивать по «тепловой энергии ротора», представленной выражением  $I_2^2 \cdot t$ , где  $I_2$  – действующее значение тока ротора.

Алгоритм вычисления энергии, например активной энергии статора при  $U = 0,4$  о.е. в режиме XX, заключается в следующем:

1. Выведенный на плоттер график функции активной мощности статора  $P_1(t)$  (рис. 2, тонкая линия) интерполируем полиномом десятой степени, дающим возможность получить наибольшее приближение полинома к исследуемой функции (рис. 2, более толстая линия):

$$P_1(t) = -0,1377 \cdot t^{10} + 6,3376 \cdot t^9 - 119,24 p_3 \cdot t^8 + 1155,2 \cdot t^7 - 5741,6 \cdot t^6 + 9560,6 \cdot t^5 + 36596 \cdot t^4 - 1,9312 \cdot 10^5 \cdot t^3 + 3,1691 \cdot 10^5 \cdot t^2 - 1,6921 \cdot 10^5 \cdot t + 75114.$$

2. Интегрируя это выражение, получим активную энергию, прошедшую через двигатель за время пуска:

$$\begin{aligned} W_1 &= \int_0^{t_{п}} P_1(t) \cdot dt = \int_0^{t_{п}} (p_1 \cdot t^{10} + p_2 \cdot t^9 + p_3 \cdot t^8 + p_4 \cdot t^7 + p_5 \cdot t^6 + p_6 \cdot t^5 + p_7 \cdot t^4 + \\ &+ p_8 \cdot t^3 + p_9 \cdot t^2 + p_{10} \cdot t + p_{11}) \cdot dt = \\ &= \int_0^{2,22} (-0,1377 \cdot t^{10} + 6,3376 \cdot t^9 - 119,24 p_3 \cdot t^8 + 1155,2 \cdot t^7 - 5741,6 \cdot t^6 + 9560,6 \cdot t^5 + 36596 \cdot t^4 - \\ &= \int_0^{2,22} (-1,9312 \cdot 10^5 \cdot t^3 + 3,1691 \cdot 10^5 \cdot t^2 - 1,6921 \cdot 10^5 \cdot t + 75114) \cdot dt = \\ &= 133,5 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 133,5 \text{ кВт} \cdot \text{с} = 133,5 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Выполняя вычисления по данному алгоритму, результаты сведём в табл. 2, где величина  $VAr \cdot c$  соответствует реактивной энергии, измеряемой в кВАр·с.

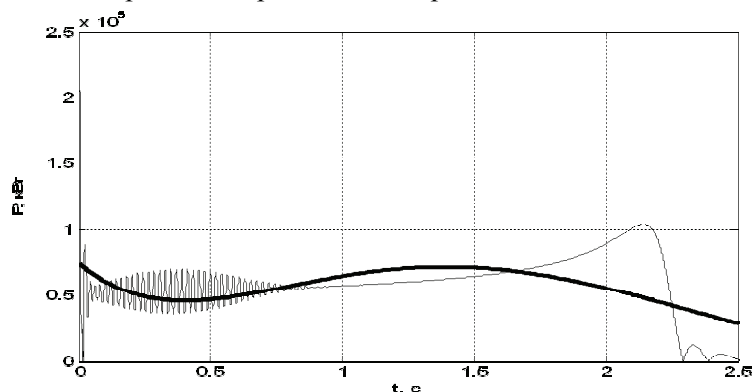


Рис. 3. График функции активной мощности статора при пуске на XX при U= 0,4 (тонкая линия) и полином данной функции десятой степени (более толстая линия)

Таблица 2

Результаты вычислений энергетических параметров при пуске АД мощностью 160 кВт на холостом ходу при различных уровнях напряжения на статоре

U, о.е.	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,2	1,3
$t_{п}, \text{с}$	8,94	3,92	2,22	1,43	1,01	0,80	0,64	0,52	<b>0,47</b>	0,40	0,38	0,34
$W_1, \text{кВт} \cdot \text{с}$ (кДж)	174,1	136,0	133,5	132,8	132,4	141,0	145,1	146,0	<b>154,2</b>	157,8	170,8	178,2
$VAr \cdot c,$ кВАр·с	232,7	471,8	464,6	464,2	467,8	487,2	487,2	476,9	<b>492,0</b>	490,5	517,8	530,2
$(I_2^2 \cdot t) \cdot 10^6,$ $A^2 \cdot c$	1,303	1,576	1,545	1,543	1,540	1,615	1,600	1,488	<b>1,566</b>	1,518	1,526	1,587

Из табл. 2 видно, что «тепловая энергия ротора»  $I_2^2 \cdot t$  фактически не зависит от напряжения статора в режиме XX. Активная энергия ЭД на XX сначала уменьшается с ростом напряжения до 0,6 о.е., а затем начинает возрастать. Реактивная энергия по мере роста напряжения увеличивается.

За время пуска  $t_{п} = 0,47 \text{ с}$  при номинальном напряжении на XX электродвигатель потребляет активную энергию  $W_1 = 154,2 \text{ кДж}$ , что в 2,05 раза больше, чем потребляемая двигателем активная энергия за то же время при номинальной нагрузке.

Результаты исследования режимов пуска при нагрузке на валу 25 и 40% от номинальной приведены в табл. 3 и 4 соответственно.

Анализ результатов моделирования под нагрузкой однозначно показывает, что при понижении напряжения значительно возрастают потребляемая активная и реактивная энергии ЭД, а также «тепловая энергия ротора», что приводит к повышенному нагреву двигателя, хотя и при ограничении пускового тока. Поэтому устройства плавного пуска, осуществляющие пуск на пониженном напряжении, нужно использовать, только если есть ограничения по величине броска пускового тока или механические ограничения. В остальных случаях с точки зрения уменьшения теплового воздействия на электродвигатели целесообразно использовать прямой способ пуска.

Таблица 3

Результаты моделирования и вычислений энергетических параметров при пуске АД мощностью 160 кВт при нагрузке на валу 25% от номинальной при различных уровнях напряжения на статоре

$U$ , о.е.	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
$I_n$ , А	1535	1800	2050	2310	2569	2830	3092	3353
$I_n^*$ , о.е.	5,38	6,3	7,18	8,09	9,0	9,9	10,83	11,74
$I_{уст}$ , А	124	114	109	109	111	115	120	126
$I_{уст}^*$ , %	43,4	39,9	38,2	38,2	38,9	40,3	42	44,1
$t_n$ , с	10,32	1,73	1,06	0,75	0,61	0,49	0,41	0,38
$t_n^*$ , о.е.	21,96	3,68	2,26	1,60	1,30	1,04	0,87	0,81
$W_1$ , кВт·с (кДж)	1231,4	305,06	242,74	217,35	210,09	204,38	204,37	212,87
$\Delta P$ -с, кВАр·с	6038,2	1156,4	873,63	773,84	739,04	715,15	699,63	708,11
$(I_2^2 \cdot t) \cdot 10^6$ , А <sup>2</sup> ·с	21,4	3,8902	2,903	2,5168	2,4503	2,3762	2,1998	2,1931

Таблица 4

Результаты моделирования и вычислений энергетических параметров при пуске АД мощностью 160 кВт при нагрузке на валу 40% от номинальной при различных уровнях напряжения на статоре

$U$ , о.е.	0,8	0,9	<b>1,0</b>	1,1	1,2	1,3
$I_n$ , А	2050	2310	<b>2570</b>	2830	3090	3352
$I_n^*$ , о.е.	7,18	8,09	<b>9,0</b>	9,9	10,83	11,74
$I_{уст}$ , А	150	142	<b>138</b>	137	138	141
$I_{уст}^*$ , %	52,5	49,7	<b>48,3</b>	48,0	48,3	49,4
$t_n$ , с	2,20	1,11	<b>0,77</b>	0,58	0,47	0,36
$t_n^*$ , о.е.	4,68	2,36	<b>1,64</b>	1,23	1,0	0,77
$W_1$ , кВт·с (кДж)	495,62	315,26	<b>268,04</b>	239,93	230,87	215,84
$\Delta P$ -с, кВАр·с	1941	1167,4	<b>962,72</b>	860,67	816,02	746,39
$(I_2^2 \cdot t) \cdot 10^6$ , А <sup>2</sup> ·с	6,4838	3,8728	<b>3,1246</b>	2,7766	2,7005	2,3612

## ЛИТЕРАТУРА

1. Возбуждение и устойчивость электромеханических комплексов с синхронными двигателями / Б.Н. Абрамович и др.; под общ. ред. Б.Н. Абрамовича. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 127 с.
2. Коновалов Ю.В. Моделирование электромеханических процессов в синхронном двигателе / Ю.В. Коновалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование / ИрГУПС. 2011. № 4(33). С. 84-89.
3. Дунаев М.П. Комплексный метод создания экспертных систем для наладки электрооборудования / М.П. Дунаев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование / ИрГУПС. 2010. № 4(29). С. 108-111.
4. Павлов В.Е. Моделирование нагрузок электроприводов типовых производственных механизмов с применением системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» / В.Е. Павлов // Вестник ИрГТУ. 2011. № 9(56). С. 168-173.

**Коновалов Юрий Васильевич** –  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Электропривод и электрический транспорт»  
Иркутского государственного  
технического университета

**Yury V. Konovalov** –  
Ph. D., Associate Professor  
Department of Electric Drives and Electric Vehicles  
Irkutsk State Technical University

**П.А. Кузнецов, Г.Г. Угаров**

### **ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

*Предложены модели оценки качества функционирования систем мониторинга воздушных линий электропередачи при случайных метеорологических воздействиях, приведены вероятностные показатели качества: обнаружения воздействия на линию, распознавания вида воздействия, обнаружения предвестника пляски провода (грозотроса). Сформулированы выводы о практической применимости разработанных моделей при проведении анализа качества действующих и разрабатываемых систем мониторинга.*

Система мониторинга воздушной линии электропередачи, вероятностные показатели качества работы, оценка эффективности функционирования, вероятности событий

**P.A. Kuznetsov, G.G. Ugarov**

### **ASSESSING THE FUNCTIONAL EFFICIENCY OF MONITORING ELECTRICITY TRANSMISSION AIR-LINES**

*The article presents the models designed to assess the quality of systems monitoring electricity transmission air-lines under casual meteorological influences. The likelihood indicators of quality are given: detection of impact on the line, recognition of a type of influence, diagnosis of a "dancing" wire. Conclusions relating the practical applicability of the developed models are formulated in terms of analyzing the quality of operating monitoring systems.*

System of monitoring air-line of electricity transmission, likelihood indicators of quality work, assessment of efficiency functioning, probability of events

Основная цель внедрения в электрических сетях систем мониторинга воздушных линий электропередачи – обеспечить своевременное обнаружение и распознавание аварийно-опасных механических воздействий на элементы линий с принятием мер по их устранению. Для достижения указанной цели качество выполнения системами мониторинга своих функциональных задач должно соответствовать определенным требованиям. В данной статье авторами впервые предложены модели оценки качества работы систем мониторинга ВЛ в условиях воздействия на линии наиболее аварийно-опасных экстремальных метеорологических нагрузок: гололедных отложений, ветра и их сочетания, вызывающего пляску проводов.

Из-за случайного характера силового воздействия провода на измерители (суммарного воздействия отложений, случайной ветровой составляющей, резонансных и случайных нерезонансных колебаний проводов в ветровом потоке, стоячих и бегущих волн в проводе (грозотросе)) сигнал с выхода измерителя параметра, особенно в области малых величин, устанавливаемых для раннего обнаружения, является случайным, поэтому задача анализа характеристик устройств обнаружения-распознавания воздействий относится к классу вероятностно-статистических задач.

Решение указанной задачи позволяет выделить из существующих и разрабатываемых систем мониторинга ВЛ [1] системы, имеющие наибольшую вероятность правильного обнаружения воздействий, правильного распознавания видов воздействий, и минимальную возможность принятия системной ошибочных решений.

Для оценки качества функционирования систем мониторинга ВЛ в условиях случайных метеовоздействий предлагается использовать вероятностные показатели качества [2] обнаружения воздействия, распознавания вида воздействия, обнаружения предвестника пляски провода (грозотроса), представляющие собой вероятности принятия того или иного решения.

Для определения показателя качества обнаружения воздействия метеонагрузок на ВЛ на рис. 1 представлена обобщенная функциональная схема устройства обнаружения воздействия, на которой  $ИВ_1, ИВ_3, \dots, ИВ_{m-1}$  и  $ИВ_2, ИВ_4, \dots, ИВ_m$  – измерители воздействия соответственно на провода и грозотросы на  $M$  контролируемых промежуточных опорах ВЛ;  $ПУ_i$  – пороговое устройство для  $i$ -го измерителя; формир.  $U_{ноп1}$  и формир.  $U_{ноп2}$  – формирователи порогов для измерителей фазного провода и грозотроса соответственно;  $U_{11}, U_{12}, \dots, U_{1m}$  и  $U_{21}, U_{22}, \dots, U_{2m}$  – напряжения, соответствующие пороговым величинам контролируемого параметра для провода и грозотроса соответственно;  $A_1^0, A_2^0, \dots, A_m^0$  и  $B_1^0, B_2^0, \dots, B_m^0$  – выходные сигналы обнаружения воздействия с пороговых устройств для провода и грозотроса каждого из  $M$  контролируемых пролетов;  $A^0$  и  $B^0$  – сигналы «Есть воздействие» соответственно на провод и грозотрос на контролируемой ВЛ, выдаваемые элементом «И» при обнаружении воздействия на любом из контролируемых пролетов.

Обобщенная функциональная схема устройства обнаружения применима для измерения любого воздействия на ВЛ: ветрового, гололедно-изморозевых отложений, температурного, динамического воздействия пляски. Измеритель воздействия на рис. 1 в зависимости от вида воздействия может напрямую измерять значение параметра и выдавать сигнал на ПУ (например, измеритель температуры), а может измерять ряд параметров и после обработки по определенному алгоритму выдавать в ПУ величину контролируемого воздействия (например, скорость и направление ветра, формирующие величину ветрового давления).

Качество обнаружения воздействий предлагается характеризовать вероятностями правильно-го  $D$  и ложного обнаружения  $F$ . Однако в отличие от классических задач обнаружения, где в качестве цены за ошибочные и правильные решения используются одни веса рисков, в данной работе используется информация обнаружения-распознавания, позволяющая заменить общеустановленные цены риска на другие, имеющие меньшие величины.

Полная группа условий наличия воздействий и условия отсутствия воздействия на проводе промежуточного пролета  $A_0$ , и полная группа решений  $A_0^*$  и  $A_{обн}^*$ , и соответствующих вероятностей обнаружения представлены в табл. 1. Для грозотроса аналогичные группы условий, решений и соответствующих вероятностей обнаружения представлены в табл. 2.

В таблицах приняты следующие обозначения:

$A$  и индекс « $A$ » – события и соответствующие вероятности для обнаружения воздействия на провод;

$B$  и индекс « $B$ » – события и соответствующие вероятности для обнаружения воздействия на грозотрос;

$D_{0/0}$  – вероятность правильного необнаружения воздействия – принятие решения «нет воздействия» при отсутствии их на всех  $M$  промежуточных пролетах;

$D_k^0$  – вероятность правильного обнаружения воздействия на  $k$ -м промежуточном пролете – принятие решения о наличии воздействия при его наличии в действительности на  $k$ -м промежуточном пролете;

$F$  – вероятность ложной тревоги – принятие решения «есть воздействие» при отсутствии воздействия на всех  $M$  промежуточных пролетах;

$F_{0/k}$  – вероятность необнаружения воздействия на  $k$ -м промежуточном пролете – принятие решения «нет воздействия» при наличии воздействия на  $k$ -м промежуточном пролете.

Для характеристики качества обнаружения воздействия на всех  $M$  контролируемых промежуточных пролетах можно использовать средние вероятности правильного обнаружения:

$$D^0 = \frac{1}{M} \times \sum_{k=1}^m D_k^0 \quad (1)$$

и средние вероятности необнаружения воздействия:

$$\bar{F}_{0/k} = \frac{1}{M} \times \sum_{k=1}^m F_{0/k} \quad (2)$$

При этом выполняются следующие равенства:  $D_{0/0} + F = 1$  и  $D^0 + \bar{F}_{0/k} = 1$ .

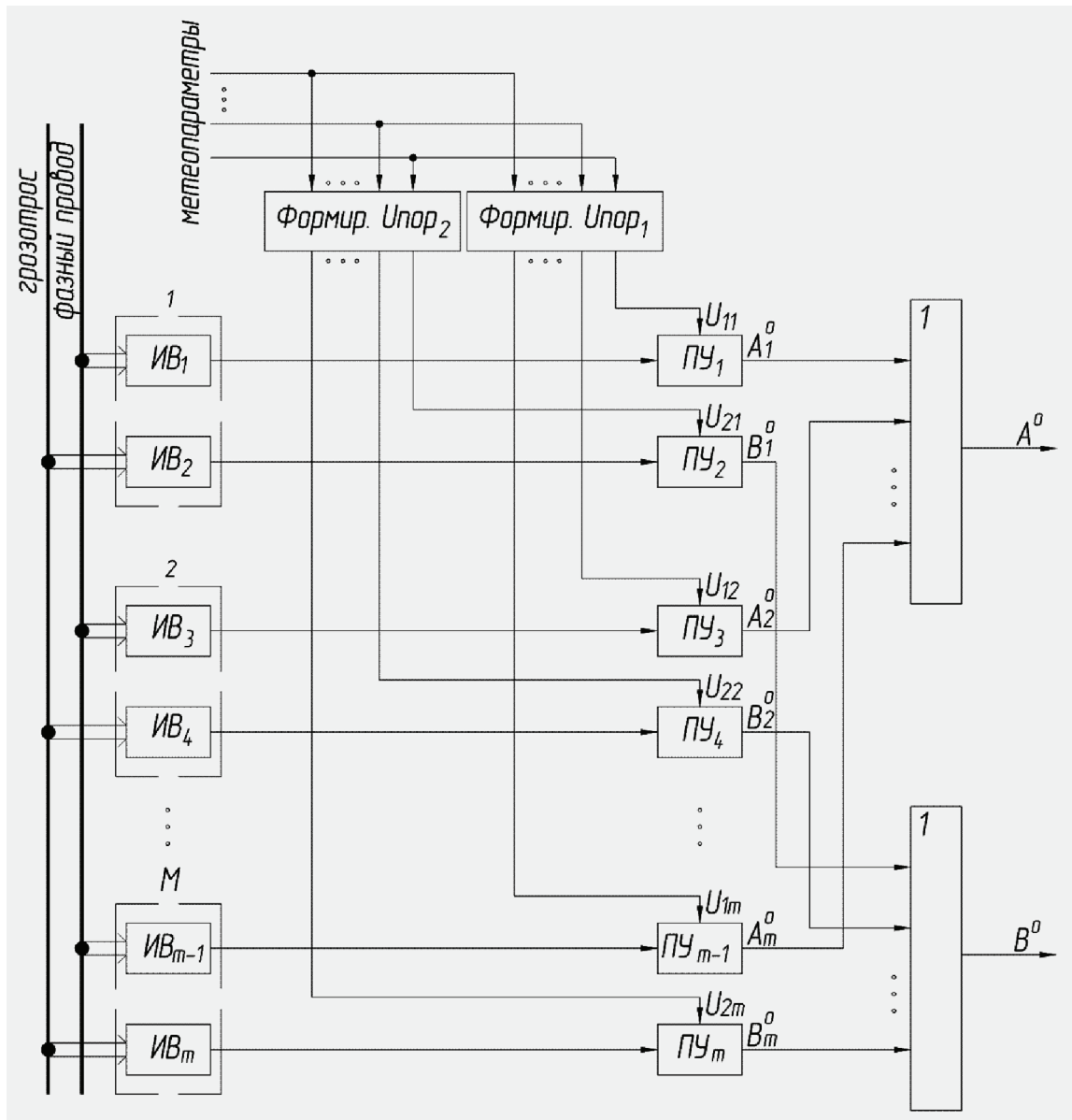


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема обнаружителя воздействия на провод и грозытрос ВЛ

Таблица 1

Полная группа условий, решений и соответствующих вероятностей обнаружения воздействия на проводе

		Условие					
		$A_0$	$A_1$	...	$A_k$	...	$A_m$
Решение	$A_0^*$	$D_{0/0}^A$	$F_{0/1}^A$	...	$F_{0/k}^A$	...	$F_{0/m}^A$
	$A_{обн}^*$	$F^A$	$D_1^{0A}$	...	$D_k^{0A}$	...	$D_m^{0A}$

Таблица 2

Полная группа условий, решений и соответствующих вероятностей обнаружения воздействия на грозытросе

		Условие					
		$B_0$	$B_1$	...	$B_k$	...	$B_m$
Решение	$B_0^*$	$D_{0/0}^B$	$F_{0/1}^B$	...	$F_{0/k}^B$	...	$F_{0/m}^B$
	$B_{обн}^*$	$F^B$	$D_1^{0B}$	...	$D_k^{0B}$	...	$D_m^{0B}$



Условия решения и соответствующие им вероятности, приведенные в таблицах, характеризуют полные группы событий при обнаружении воздействий любых видов.

Введенные вероятности правильного обнаружения воздействия, правильного необнаружения воздействия, ложного срабатывания и необнаружения (пропуска) воздействия позволяют оценить качество обнаружения информационно-измерительными системами мониторинга любых видов воздействий.

Рассмотрим критерии качества обнаружения-распознавания вида метеорологического воздействий на ВЛ на примере обнаружения гололедных отложений и распознавания их вида (гололед, изморозь или снег).

На рис. 2 представлена обобщенная функциональная схема устройства обнаружения-распознавания вида отложений на проводах и грозотросы ВЛ, на которой  $ИО_1, ИО_2, \dots, ИО_m$  – измерители величины отложений на проводе  $1 \dots M$  промежуточных пролетов ВЛ;  $ПУ_{i1}^p, ПУ_{i2}^p, \dots, ПУ_{ik}^p$  – пороговое устройство распознавания отложений  $k$ -го вида, измеряемых  $i$ -м измерителем величины отложений;  $A_{i1}^{0P}, A_{i2}^{0P}, \dots, A_{ik}^{0P}$  – сигналы распознавания отложений  $k$ -го вида, измеряемых  $i$ -м измерителем;  $A_1^J, A_2^J, \dots, A_k^J$  – сигналы распознавания отложений  $k$ -го вида на всей ВЛ с блока мажоритарной обработки сигналов распознавания, собранных со всех  $M$  контролируемых промежуточных пролетов.

В состав обнаружителя-распознавателя отложений входят обнаружитель отложений как отдельный канал, работающий независимо от второго канала – распознавателя. Второй канал также независимо от первого формирует решение о виде отложений. При одновременном срабатывании обоих каналов решение об отнесении обрабатываемого сигнала к отложениям  $k$ -го вида поступает на выход только при наличии сигнала обнаружения и в этом случае представляет собой решение об обнаружении-распознавании вида отложений, действующих в текущий момент на пролёт провода (грозотроса). Обнаружитель-распознаватель будет работать только как распознаватель, т.е. будет классифицировать все сигналы, действующие на датчики (включая воздействия, вызываемые ветровыми нагрузками), если вместо сигналов обнаружения  $A_1^0, A_2^0, \dots, A_m^0$  на элементы «И» будет поступать логическая «1». Способность рассматриваемого обнаружителя-распознавателя решать две независимые задачи и третью взаимосвязанную задачу, обуславливает необходимость разделения анализа его работы как обнаружителя хотя бы одного из  $M$ -видов отложений с различной априорной статистикой (из-за различных условий образования), как распознавателя (различителя) видов отложений из  $M$ -возможных, и как обнаружителя-распознавателя отложений, имеющихся в текущий момент на конкретном пролете провода (грозотроса). Кроме перечисленных функций, обнаружитель-распознаватель имеет в своем составе блок мажоритарной обработки по всем датчикам, находящимся на одной ВЛ, для формирования наиболее вероятной общей оценки вида отложений на контролируемой линии в текущий момент времени. Мажоритарная обработка реализуется по принципу решения в пользу того вида отложений, сигналы о котором будут выданы с большего числа каналов обработки сигналов измерителей со всех  $M$  промежуточных пролетов ВЛ.

Для оценки качества распознавания вида отложений используем категории вероятностей правильного  $D_k^p$  и ложного  $F_k^p$  распознавания отложений  $k$ -го вида [3], которые можно пояснить с помощью табл. 3. В соответствии с [4] вероятность ложного распознавания отложений  $k$ -го вида определяется следующим выражением:

$$F_k^p = \frac{1}{M-1} \times \sum_{k,g=1;g \neq k}^M F_{k/g} \quad (3)$$

По аналогии с обнаружением можно ввести средние вероятности правильного распознавания отложений  $k$ -го вида

$$D^p = \frac{1}{M} \times \sum_{k=1}^M D_k^p \quad (4)$$

и ложного распознавания

$$F^p = \frac{1}{M} \times \sum_{k=1}^M F_k^p \quad (5)$$

Для оценки показателей качества используем следующие понятия:

$D_k^{o-p}$  – вероятность правильного обнаружения-распознавания отложения  $k$ -го вида – вероятность принятия решения «есть отложения» на пролете и отложения принадлежат  $k$ -му виду при усло-

вии наличия отложений  $k$ -го вида;  $G_k$  – вероятность правильного обнаружения – ложного распознавания (вероятность принятия решения «есть отложения» и оно принадлежит к  $k$ -му виду при условии, что отложения действительно есть, но они принадлежат к любому другому ( $g = 1, \dots, M, g \neq k$ ) виду).

Вероятность правильного обнаружения – ложного распознавания  $G_k$  можно пояснить с помощью табл. 2, согласно которой

$$G_k = \frac{1}{M-1} \times \sum_{k,g=1;g \neq k}^M F_{k/g}^{o-p}, \quad (6)$$

где  $F_k^{o-p}$  – вероятность принятия решения «есть отложение» и оно принадлежит к  $k$ -му виду, при условии, что оно действительно есть, но принадлежит к некоторому  $g$ -му ( $g \neq k$ ) виду.

Интерес представляют также и средние вероятности правильного обнаружения-распознавания:

$$D^{o-p} = \frac{1}{M} \times \sum_{k=1}^M D_k^{o-p}, \quad (7)$$

и правильного обнаружения – ложного срабатывания:

$$G = \frac{1}{M} \times \sum_{k=1}^M G_k. \quad (8)$$

Вероятности ложных решений  $F_{o/k}$  в табл. 4 полностью совпадают с вероятностями ложных решений, приведенных в табл. 1, 2 (провода и грозотросы). Сумма вероятностей  $F_{k/0}^{o-p}$  представляет собой вероятность ложной тревоги в табл. 1, 2:

$$F = \sum_{k=1}^M F_{k/0}^{o-p}. \quad (9)$$

Таблица 3

Полная группа условий, решений и соответствующих вероятностей распознавания отложений на проводе (грозотросе)

		Условие					
		$A_1$	$A_2$	...	$A_k$	...	$A_m$
Решение	$A_1^*$	$D_1^p$	$F_{1/2}^p$	...	$F_{1/k}^p$	...	$F_{1/m}^p$
	$A_2^*$	$F_{2/1}^p$	$D_2^p$	...	$F_{2/k}^p$	...	$F_{2/m}^p$
	...	...	...	...	...	...	...
	$A_k^*$	$F_{k/1}^p$	$F_{k/2}^p$	...	$D_k^p$	...	$F_{k/m}^p$
	...	...	...	...	...	...	...
	$A_m^*$	$F_{m/1}^p$	$F_{m/2}^p$	...	$F_{m/k}^p$	...	$D_m^p$

Таблица 4

Полная группа условий, решений и соответствующих вероятностей обнаружения-распознавания отложений на проводе (грозотросе)

		Условие					
		$A_0$	$A_1$	...	$A_k$	...	$A_m$
Решение	$A_0^*$	$D_{0/0}$	$F_{0/1}$	...	$F_{0/k}$	...	$F_{0/m}$
	$A_1^*$	$F_{1/0}^{o-p}$	$D_1^{o-p}$	...	$F_{1/k}^{o-p}$	...	$F_{1/m}^{o-p}$
	...	...	...	...	...	...	...
	$A_k^*$	$F_{k/0}^{o-p}$	$F_{k/1}^{o-p}$	...	$D_k^{o-p}$	...	$F_{k/m}^{o-p}$
	...	...	...	...	...	...	...
	$A_m^*$	$F_{m/0}^{o-p}$	$F_{m/1}^{o-p}$	...	$F_{m/k}^{o-p}$	...	$D_m^{o-p}$

Условия решения и соответствующие им вероятности, приведенные в таблицах, характеризуют полные группы событий при обнаружении-распознавании отложений на промежуточных пролетах и линии в целом. Однако при рассматриваемой цифровой обработке (предполагается, что алгоритмы обработки, приведенные на рис. 1, 2, будут реализованы в виде программы на ЭВМ) возможны ситуации, когда отклики на выходах двух и более согласованных фильтров блока распознавания примут одновременно наибольшее и одинаковые по величине значения. Это явление обусловлено конечным числом разрядов цифровых кодов. В этих случаях нет возможности принять правильные решения о виде отложений, и вероятность таких событий при наличии отложений  $k$ -го вида характеризуется вероятностью нераспознавания отложений  $k$ -го вида  $P_k^H$ , а при решении задачи обнаружения-распознавания – вероятностью правильного обнаружения-нераспознавания  $P_k^{O-H}$ .

Средние вероятности этих событий определяются следующими выражениями [3]:

$$P^H = \frac{1}{M} \times \sum_{k=1}^M P_k^H; \quad (10)$$

$$P^{O-H} = \frac{1}{M} \times \sum_{k=1}^M P_k^{O-H}. \quad (11)$$

Введенные вероятности правильного обнаружения-распознавания вида отложений, правильного обнаружения – ложного распознавания вида отложений, ложной тревоги и необнаружения отложений позволяют оценить качество обнаружения-распознавания информационно-измерительными системами мониторинга вида отложений.

Рассмотрим критерии качества обнаружения предвестника пляски провода (грозотроса) ВЛ.

По аналогии с показателями качества обнаружения воздействия на провода (грозотросы) промежуточного пролета ВЛ для оценки качества обнаружения предвестника пляски предлагается ввести следующие вероятностные показатели:

$D_{np/0}$  – вероятность правильного необнаружения предвестника пляски – принятие решения «нет предвестника пляски» при отсутствии его на всех  $M$  контролируемых промежуточных пролетах;  $D_{np/k}^0$  – вероятность правильного обнаружения предвестника пляски на  $k$ -м промежуточном пролете – принятие решения о наличии предвестника пляски при его наличии в действительности на  $k$ -м промежуточном пролете;  $F_{np}$  – вероятность ложной тревоги – принятие решения «есть предвестник пляски» при его отсутствии на всех  $M$  промежуточных пролетах;  $F_{np/k}$  – вероятность необнаружения предвестника пляски на  $k$ -м промежуточном пролете – принятие решения «нет предвестника пляски» при его наличии на  $k$ -м промежуточном пролете.

Для характеристики качества обнаружения предвестника пляски на всех  $M$  промежуточных пролетах контролируемой ВЛ можно использовать средние вероятности правильного обнаружения:

$$D_{np}^0 = \frac{1}{M} \times \sum_{k=1}^m D_{np/k}^0 \quad (12)$$

и средние вероятности необнаружения предвестника пляски:

$$\bar{F}_{np} = \frac{1}{M} \times \sum_{k=1}^m F_{np/k} \quad (13)$$

При этом выполняются следующие равенства:  $D_{np/0} + F_{np} = 1$  и  $D_{np}^0 + \bar{F}_{np} = 1$ .

Условия, решения и соответствующие им вероятности, характеризующие полные группы событий при обнаружении предвестника пляски на контролируемой ВЛ, представлены в табл. 5, 6.

Предложенные показатели вероятности правильного обнаружения предвестника пляски, правильного необнаружения предвестника пляски, ложного срабатывания и необнаружения (пропуска) предвестника пляски позволяют оценить качество обнаружения информационно-измерительными системами мониторинга предвестника пляски провода (грозотроса).

В настоящее время разработчиками и производителями систем мониторинга ВЛ не принято производить оценку качества выполнения системами их основных функций. Это в основном обусловлено недостаточно длительным опытом эксплуатации систем в электросетевых компаниях, а также тем, что на сегодняшний день требования заказчиков акцентированы в основном на качестве и надежности работы элементов систем мониторинга, и пока еще невысоких требованиях к качеству и точности выполнения системами их основных функций: обнаружения и распознавания метеорологических воздействий.

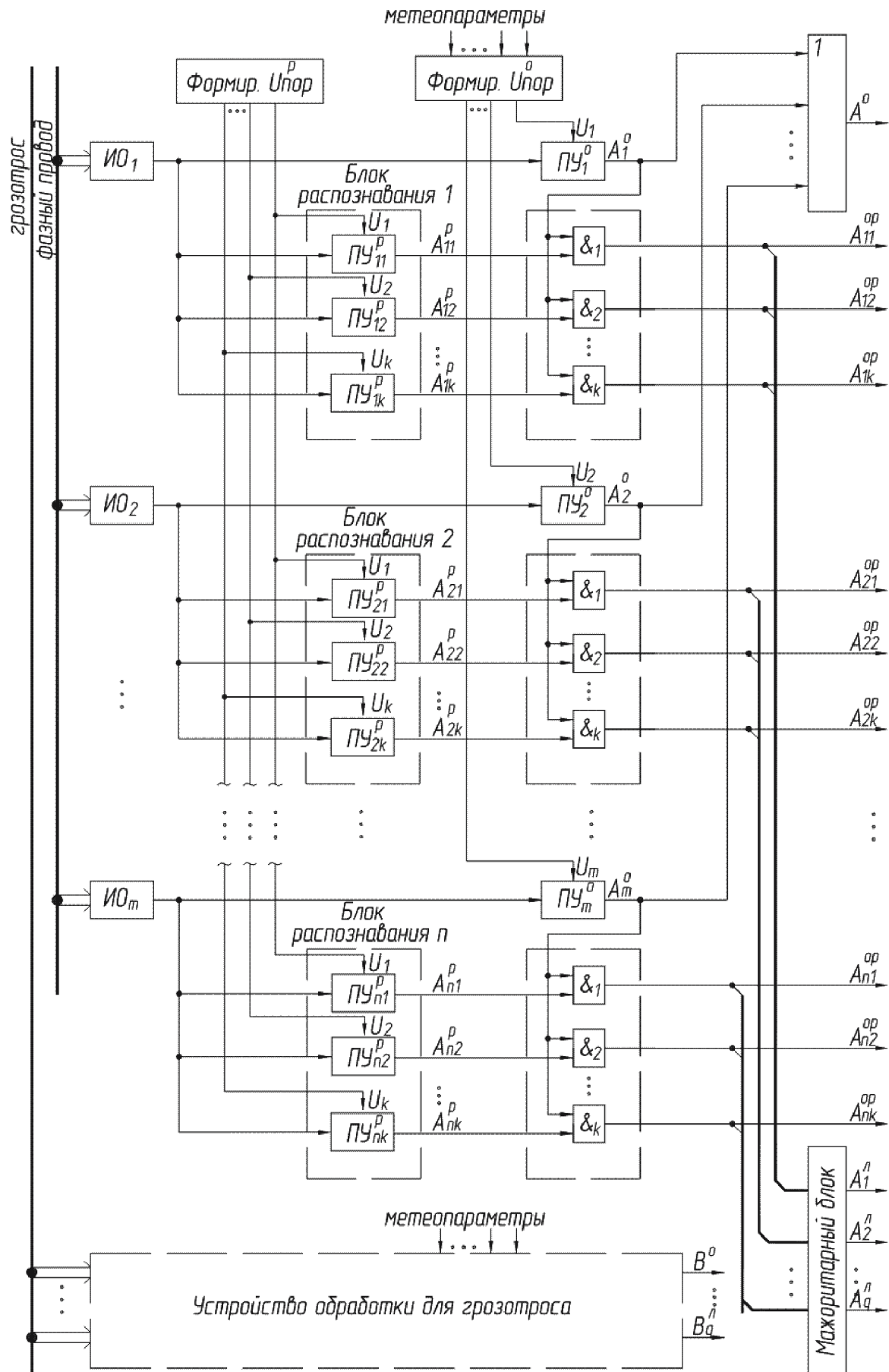


Рис. 2. Обобщенная функциональная схема обнаружителя-распознавателя отложений на проводах и грозотросах ВЛ с мажоритарной обработкой

Таблица 5

Полная группа условий, решений и соответствующих вероятностей обнаружения предвестника пляски провода

		Условие					
		$A_0$	$A_1$	...	$A_k$	...	$A_m$
Решение	$A_0^*$	$D_{np/0}^A$	$F_{np/1}^A$	...	$F_{np/k}^A$	...	$F_{np/m}^A$
	$A_{обн}^*$	$F_{np}^A$	$D_{np/1}^{0A}$	...	$D_{np/k}^{0A}$	...	$D_{np/m}^{0A}$

Таблица 6

Полная группа условий, решений и соответствующих вероятностей обнаружения предвестника пляски грозотроса

		Условие					
		$B_0$	$B_1$	...	$B_k$	...	$B_m$
Решение	$B_0^*$	$D_{np/0}^B$	$F_{np/1}^B$	...	$F_{np/k}^B$	...	$F_{np/m}^B$
	$B_{обн}^*$	$F_{np}^B$	$D_{np/1}^{0B}$	...	$D_{np/k}^{0B}$	...	$D_{np/m}^{0B}$

Тем не менее решение задач мониторинга ВЛ производится системами мониторинга с той или иной вероятностью ошибки, определяющей качество выполнения системой своего функционального назначения. Поэтому в перспективе, по мере улучшения надежности работы систем, накопления статистики их работы и повышения конкуренции в данной области, неизбежен переход от грубой оценки качества функционирования к детальному анализу систем по специальным критериям качества.

Таким образом, критерии качества обнаружения воздействий и распознавания их видов в ближайшее время станут приоритетными при выборе систем мониторинга заказчиками и составлении технических условий для их разработки. Что касается разработчиков систем мониторинга, то для них предложенные авторами критерии качества могут быть использованы в качестве целевых показателей при разработке новых и усовершенствовании действующих систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов П.А. Системы мониторинга гололедно-ветровых и температурных нагрузок на воздушных линиях электропередачи / П.А. Кузнецов, В.Я. Башкевич, Г.Г. Угаров // Современные энергетические системы и комплексы и управление ими: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. С. 35-36.
2. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств / П.В. Новицкий. Л.: Энергия, 1968. 248 с.
3. Барабаш Ю.Л. Вопросы статистической теории распознавания / Ю.Л. Барабаш, Б.В. Варский, В.Г. Зиновьев. М.: Сов. радио, 1967. 276 с.
4. Горелик А.Л. Методы распознавания / А.Л. Горелик, В.А. Скрипник. М.: Высш. шк., 1977. 322 с.

**Кузнецов Павел Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Pavel A. Kuznetsov** – PhD, Associate Professor  
Department of Power Supply for Industrial Facilities  
Gagarin Saratov State Technical University

**Угаров Геннадий Григорьевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Gennady G. Ugarov** – Dr.Sc., Professor  
Department of Power Supply for Industrial Facilities  
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.09.12, принята к опубликованию 06.11.12

Д.Н. Муромцев, С.Я. Пичхидзе

## ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ И ГОМОГЕННОСТИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВЫХ КАУЧУКОВ

*Показано, что наибольшей информативностью для оценки качества смешения резиновой смеси обладают тангенс угла механических потерь  $tg\delta$ , сдвиговой модуль накопления  $G'$  и дисперсный анализ частиц технического углерода в каучуке, отображающие в целом изменение технологических свойств резиновой смеси. Разработанный способ позволяет эффективно оценивать качество смешения резиновых смесей, а также распределение частиц технического углерода и их количественные характеристики.*

Диспергирование, тангенс угла механических потерь, сдвиговой модуль накопления, этиленпропиленовый каучук

D.N. Muromtsev, S.Y. Pichhidze

## ASSESSMENT OF THE DISPERSION DEGREE AND HOMOGENEITY OF THE RUBBER COMPOUNDS BASED ON EPDM RUBBER

*It is shown that the most informative for the assessment of the quality of the mixing of rubber mixes have the tangent of the angle of mechanical losses  $tg\delta$ , shift modulus  $G'$  and disperse analysis of the particles of carbon black in rubber, reflecting the change of the technological properties of rubber mixes. The developed method allows to effectively assess the quality of the mixing of rubber mixtures, as well as the distribution of the particles of carbon black and their quantitative characteristics.*

Dispersion, the tangent of the mechanical loss, shear storage modulus, EPDM

Развитие современного машиностроения требует постоянного совершенствования уплотнительных устройств типа резиновых оконных уплотнителей. Для изготовления таких уплотнителей в основном применяются резины на основе этиленпропиленовых каучуков (EPDM). Расширение производства современных оконных уплотнителей требует изготовления качественных резиновых смесей, а также оптимизации технологии изготовления длинномерных резиновых профилей, изготавливаемых по экструзионной технологии на промышленных линиях непрерывной высокотемпературной вулканизации.

К основным требованиям, предъявляемым к длинномерным резиновым профилям, относятся сохранение заданных геометрических размеров и недопущение искажения формы, а также удовлетворительные внешневидовые характеристики, т.е. отсутствие возвышений, углублений, шероховатости, пузырей, включений, механических повреждений, срезов, вырывов, продольных рисок и необходимая чистота поверхности.

Для получения высоконаполненных смесей с требуемыми технологическими свойствами без потери эксплуатационных и внешневидовых свойств важно правильно сделать выбор каучука, подобрать оптимальную степень наполнения и режим смешения для лучшего диспергирования технического углерода и других наполнителей.

В реологическом аспекте результат смешения оценивается однородностью системы, что определяется в основном накопленной деформацией сдвига и степенью диспергирования технического углерода в каучуке, связанной с максимальным напряжением сдвига. Статистические характеристики перемешивания рассчитываются при наличии данных физико-химического анализа по вариациям концентраций ингредиентов. Однако степень диспергирования технического углерода непосредственно рассчитать трудно.

Количественное определение степени диспергирования технического углерода в каучуке имеет большое значение в производстве резины, поскольку в заводских условиях режим смешения устанавливается таким образом, чтобы обеспечить необходимую степень диспергирования в готовой смеси. Простейшие оценки степени диспергирования технического углерода в каучуке обычно делаются визуально по блеску среза смеси и степени неровности его поверхности, а после вулканизации по данным физико-механических испытаний проводят количественную оценку степени диспергирования наполнителя в резиновой смеси [1].

**Целью настоящей работы** являлась разработка способа оценки качества смешения резиновых смесей, позволяющего быстро и с минимальными затратами определить степень диспергирования ингредиентов, а также оптимальный режим их смешения при получении резиновых смесей.

В качестве объекта исследования была выбрана применяемая для изготовления оконных уплотнителей автомобилей стандартная резиновая смесь на основе этиленпропиленового каучука марки СКЭПТ-50, полученная при разных режимах смешения и дозировках технического углерода марки П-514.

### Экспериментальная часть

Изготовление модельных резиновых смесей осуществлялось в резиносмесителе Farrel BR1600 при скорости вращения роторов 65 об/мин, температуре смешения 100 °С.

Для исследования образцов резиновых смесей был использован анализатор перерабатываемости резин RPA2000 (Alpha Technologies). Определение тангенса угла механических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) и сдвигового модуля накопления ( $G'$ ) осуществлялось при частоте 0,1 Гц, температуре 80 °С в диапазоне деформаций от 0,3 до 1000 % (от 0,02 до 72 degrees).

Оценка внешневидовых характеристик экструдата осуществлялась через формующее отверстие типа Гарвей (Garvey) на лабораторном экструдере холодного питания Rubicon ЕЕК 32.12 L-4,0/90 при скорости вращения червяка 15 об/мин. Эксперимент проводился при температурах: червяка – 55 °С, цилиндра – 60 °С, формующего инструмента – 65 °С, что соответствует реальным производственным условиям.

Исследование экструдиремости модельных резиновых смесей и качества поверхности экструдата осуществлялось согласно стандарту ASTM D 2230-02 по показателям вздутия и пористости, резкости и постоянства края под углом 30°, мягкости поверхности, остроты и устойчивости углов.

Степень дисперсии технического углерода и наполнителей в резиновой смеси определялась при помощи оптического микроскопа Unico ZM181, оснащенного фотоаппаратом Canon PowerShot A640 для получения фотографий и их дальнейшего анализа по программе ImageJ (NIH). Для дисперсного анализа применялись образцы, представляющие собой шайбу для определения твердости по Шору А толщиной 6 мм, на которых лезвием делались тонкие надрезы. Анализу подвергались надрезы без дефектов, возникающие непосредственно при срезе лезвием, которые исследовались при 80-кратном увеличении. Брались 5 участков: в четырех углах и в середине.

Вязкость по Муни MS(1+4)100 °С оценивалась на вискозиметре MV2000 (Alpha Technologies).

## Обсуждение результатов

Единственным стандартизованным реологическим методом испытания полимеров, принятым в технологии резин, является метод определения вязкости по Муни. При всей его важности метод обеспечивает только обобщенное описание характеристик полимеров и не может гарантировать их одинаковое технологическое поведение. Вязкость по Муни в большей степени пропорциональна средней молекулярной массе полимера [2].

С целью установления качества смешения нами был выбран показатель тангенс угла механических потерь ( $tg\delta$ ), который минимум в два раза более чувствителен к реальным изменениям технологических свойств резины, чем показатель вязкости по Муни [3]. Тангенс угла механических потерь при высоких деформациях может коррелировать с эластическим восстановлением экструдатов резиновых смесей. Таким образом,  $tg\delta$  является надежным индикатором для быстрого контроля качества смешения, экструзионных свойств резиновых смесей. За показатель качества смешения также был взят сдвиговый модуль накопления ( $G'$ ), характеризующий эластичность материала при определенных температурах, частоте и деформации.

С целью установления взаимосвязи  $tg\delta$  и  $G'$  от изменения качества диспергирования компонентов, были приготовлены резиновые смеси (7 образцов) при режиме смешения от 3 до 15 минут. Зависимости  $tg\delta$  и вязкости по Муни от режима смешения модельных смесей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение  $tg\delta$ , вязкости по Муни, гомогенности и экструзионной способности от времени смешения модельных резиновых смесей

Номер закладки	Время смешения, мин	$tg\delta$	$G'$ , кПа	Вязкость по Муни, усл. ед.	ASTM D 2230-02		Наличие включений
					система А	система В	
1	3	2,661	835,53	52,0	4-3-2-2	8А	есть
2	5	2,934	830,13	48,4	4-3-3-3	8А	есть
3	7	3,098	760,33	50,9	4-3-3-3	8А	есть
4	9	3,184	653,01	40,5	4-4-3-3	8А	есть
5	11	3,285	547,76	47,4	4-4-3-3	9А	нет
6	13	3,307	521,35	52,6	4-4-4-4	10А	нет
7	15	3,317	500,03	50,5	4-4-4-4	10А	нет

Из табл. 1 и рисунка видно, что с увеличением времени смешения происходит увеличение  $tg\delta$ , улучшение внешневидовых свойств экструдата (уменьшается шероховатость, количество и размер включений, их исчезновение в дальнейшем) и достигается точность воспроизведения контуров экструзионной головки экструдатом. Также установлено, что с увеличением времени смешения  $tg\delta$  начинает приближаться к постоянному значению, что может показывать оптимальное время смешения, т.е. оптимум диспергирования, тем самым объясняя возрастание гомогенности смеси. Изменение вязкости по Муни в данном случае является необъективным, показывая примерно равные значения при разном времени смешения.

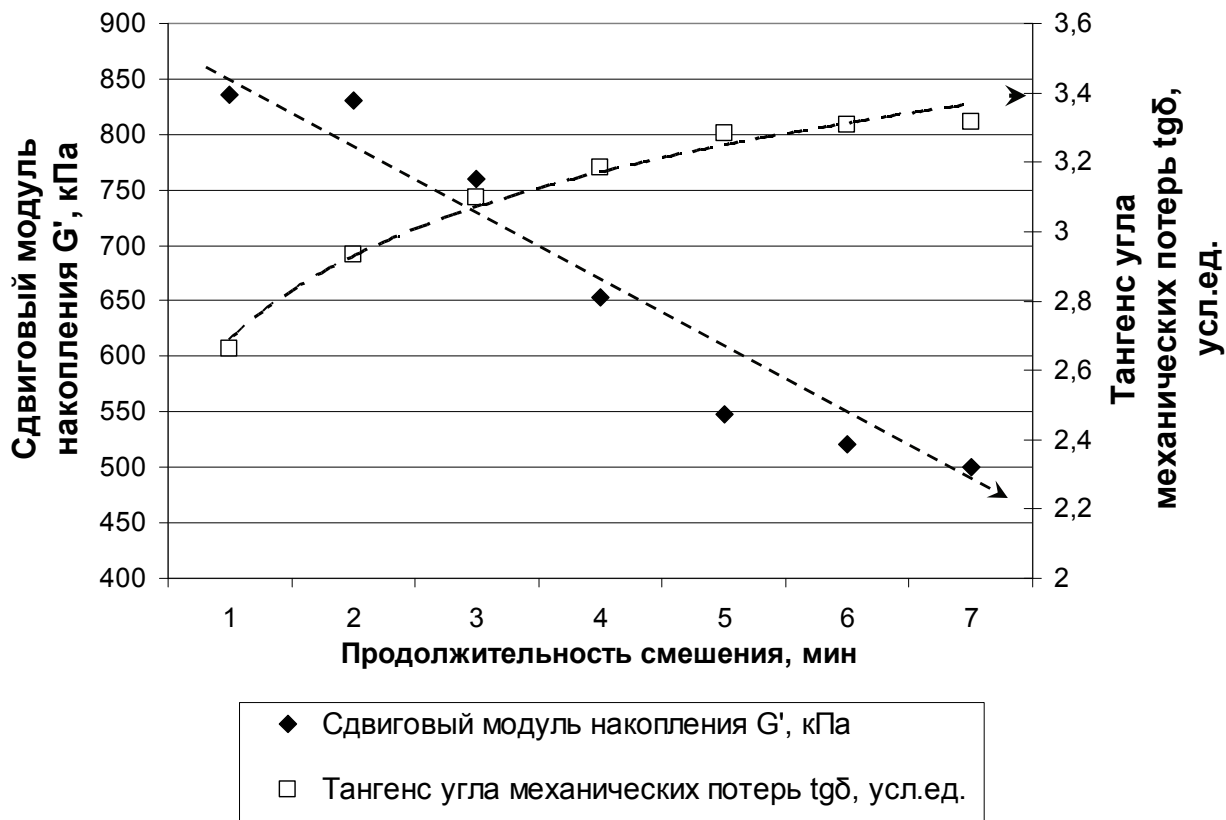
Установлено, что уменьшение значения сдвигового модуля накопления ( $G'$ ), измеренного в области больших деформаций, с увеличением времени смешения происходит линейно. Таким обра-



зом, чем лучше диспергирование, тем меньше значение  $G'$ . Это может быть объяснено на основе представлений о сетке агломератов, которая существует в смеси при плохом диспергировании частиц наполнителя [4].

Также замечено (табл. 1), что с уменьшением значения  $G'$  улучшаются внешневидовые характеристики экструдата. В таком случае, показатель  $G'$  может служить мерой оценки величины изменения геометрических форм экструдата.

Из представленных в табл. 1 и на рисунке данных видно, что показатели  $\text{tg}\delta$  и  $G'$  чувствительны к изменению режима приготовления резиновых смесей.



Изменение  $\text{tg}\delta$  и  $G'$  в модельных резиновых смесях от продолжительности смешения

С увеличением времени смешения размеры частиц уменьшаются (табл. 2), увеличивается количество более мелких частиц и улучшается их распределение в резиновой смеси.

Для оценки чувствительности  $\text{tg}\delta$  и  $G'$  к изменению состава резиновой смеси были приготовлены в одинаковых условиях (время смешения 12 минут, температура смешения 100 °С) резиновые смеси с различным содержанием технического углерода марки П-514 (от 55 до 145 масс. ч.). Из результатов, представленных в табл. 3, видно, что с увеличением дозировки технического углерода в резиновой смеси уменьшается значение  $G'$  (т.е. снижается эластическая составляющая) и увеличивается значение  $\text{tg}\delta$ , что подтверждает увеличение степени наполнения резиновой смеси и её твердости.

Большая степень наполнения каучука техническим углеродом ведет к увеличению показателя вязкости по Муни (образцы 6 и 7). При этом теряется технологичность резиновой смеси, что негативно сказывается на процессе переработки резиновой смеси, так как возрастает давление в области формирующей головки.

Испытание на лабораторном экструдере показывает, что с увеличением дозировки технического углерода до 115 масс. ч. улучшаются блеск, гладкость, насыщенность черного цвета, снижается разбухание экструдата, заметно улучшаются такие показатели как резкость и постоянство края под углом 30°, острота и устойчивость углов. Наполнение свыше 115 масс. ч. в данном случае приводит к нежелательному увеличению вязкости по Муни, а также к ухудшению внешневидовых свойств экструдата.

Таблица 2

Дисперсный анализ модельных резиновых смесей с разным временем смешения при помощи программы ImageJ

Номер образца	Общее время смешения, мин	Общее количество частиц, шт.	Общая площадь включений, мм <sup>2</sup>	Минимальный размер (площадь) частиц, мм <sup>2</sup>	Максимальный размер (площадь) частиц, мм <sup>2</sup>
1	3	849	0,376	$7,08 \times 10^{-7}$	0,281
2	5	1102	0,252	$6,78 \times 10^{-7}$	0,078
3	7	1937	0,274	$6,78 \times 10^{-7}$	0,048
4	9	2015	0,293	$7,27 \times 10^{-7}$	0,017
5	11	1796	0,076	$7,27 \times 10^{-7}$	0,006
6	13	1579	0,048	$7,27 \times 10^{-7}$	0,004
7	15	512	0,029	$7,27 \times 10^{-7}$	0,001

Таблица 3

Изменение tgδ, G', вязкости по Муни и свойств экструдата от содержания технического углерода в модельных резиновых смесях

Номер образца	Масс. ч. ТУ на 100 масс. ч. каучука	ASTM D 2230-02		tgδ	G', кПа	Вязкость по Муни, усл. ед.
		система А	система В			
1	55	4-1-1-1	5В	3,242	745,53	44,0
2	70	4-2-2-2	6В	3,260	764,28	46,0
3	85	4-3-3-3	8А	3,300	736,98	49,0
4	100	4-4-4-4	10А	3,386	663,35	52,0
5	115	4-4-4-4	10А	3,491	457,76	54,0
6	130	4-4-3-3	9А	3,776	431,35	65,0
7	145	4-4-3-3	9А	3,801	410,03	73,0

## Выводы

Проведено комплексное исследование, направленное на изучение качества смешения резиновой смеси. Показано, что наибольшей информативностью для оценки качества смешения резиновой смеси обладают тангенс угла механических потерь  $\text{tg}\delta$ , сдвиговой модуль накопления  $G'$  и дисперсный анализ частиц технического углерода в каучуке, отображающие изменение технологических свойств резиновой смеси и внешневидовых свойств экструдата. Установлена взаимосвязь изменений  $\text{tg}\delta$  и  $G'$  от содержания технического углерода и степени его диспергирования.

Разработан способ, позволяющий при помощи RPA2000 быстро и с минимальными затратами эффективно оценивать качество смешения резиновых смесей, а так же распределение частиц технического углерода и их количественные характеристики по программе ImageJ. Основываясь на предлагаемом подходе, можно своевременно выявлять дефекты диспергирования, непосредственно влияющие на свойства и способность резиновой смеси к переработке.

Полученные закономерности позволяют оптимально подобрать режимы смешения в производстве и дают больше информации о качестве невулканизованной смеси по сравнению со стандартными методами анализа, что дает возможность повысить качество оконных уплотнителей автомобилей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Переработка каучуков и резиновых смесей (реологические основы, технология, оборудование) / Е.Г. Вострокнутов, М.И. Новиков, В.И. Новиков, Н.В. Прозоровская. М.: Химия, 1980. 280 с.
2. Burhin Henri G. Практическое применение линейного и нелинейного участков вязкоупругих свойств полимеров для оценки их свойств / Henri G. Burhin, Chris Stevens. Alpha Technologies, United Kingdom, 2006. 12 с.
3. Дик Дж. С. Технология резины: Рецептуростроение и испытания / Дж.С. Дик; пер. с англ. под ред. В.А. Шершнева. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
4. Аверко-Антонович И.Ю. Методы исследования структуры и свойств полимеров: учеб. пособие / И.Ю. Аверко-Антонович, Р.Т. Бикмуллин. Казань: КГТУ, 2002. 604 с.

**Пичхидзе Сергей Яковлевич** –  
кандидат химических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergei Ya. Pichhidze** –  
Ph. D., Senior Scientist, Associate Professor of the Department Biotech and Medical Devices and Systems Gagarin Saratov State Technical University

**Муромцев Денис Николаевич** –  
ведущий инженер-технолог  
ОАО «Балаковорезинотехника», г. Балаково

**Denis N. Muromtsev** –  
Leading engineer  
of JSC «Balakovorezinotekhnika», Balakovo

*Статья поступила в редакцию 16.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

Г.П. Сметанкин, А.С. Бурдюгов, Т.В. Плохова, М.Ю. Сербиновский

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕРМЕТИЧНЫХ НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УСКОРЕННОМ ЗАРЯДЕ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

*Представлены результаты исследования стабильности емкости герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов с неопределённой степенью заряженности при их ускоренном заряде асимметричным током. Выбранный режим заряда асимметричным током позволяет ускоренно заряжать герметичные аккумуляторы без приведения их в исходное состояние (разряд до 1 В). Время переподготовки аккумулятора, затраченное только на время ускоренного заряда, составляет  $1,5 \div 2$  часа при сохранении ресурса, в сравнении с режимом заряда постоянным током в течение  $14 \div 19$  часов, определяет преимущества выбранного режима.*

Асимметричный ток, ускоренный заряд, герметичный аккумулятор, неопределенная степень заряженности, предварительный разряд

G.P. Smetankin, A.S. Burdyugov, T.V. Plokhova, M.Y. Serbinovskiy

### RESEARCH OF STABILITY CHARACTERISTICS OF THE SEALED NICKEL-CADMIUM ACCUMULATORS UNDER THE AUTOMATED RAPID CHARGE WITH ALTERNATIVE CURRENT

*The article presents the research results of nickel cadmium sealed batteries' rapid charging with indefinite degree of asymmetrical current charge. The chosen mode of asymmetrical current charging allows rapid charging of sealed accumulators without putting them into a reset state (discharge up to 1V). The accumulator rebuilding time used only for accelerated charge equals  $1,5 \div 2$  hours under the conserved resource. Compared with the direct current charge mode during  $14 \div 19$  hours, it defines the priorities of the chosen mode.*

Asymmetrical current, fast charge, sealed accumulator, indefinite charging rate, pre-discharge

#### Введение

Исследование возможности интенсификации заряда герметичных никель-кадмиевых аккумуляторных батарей с неопределенной степенью заряженности без предварительного разряда при условии обеспечения высокой стабильности параметров заряженных батарей представляет большой практический интерес. Никель-кадмиевые аккумуляторы и аккумуляторные батареи, в том числе герметичные, широко применяются в промышленности, на транспорте в изделиях специального назначения, они обладают уникальными свойствами:

- высокие зарядные и разрядные токи
- сохранность заряда
- большой срок службы
- большое количество зарядно-разрядных циклов
- рабочий диапазон температуры окружающей среды

- до  $10C_{ном}$ ;
- до 10 лет;
- до 20 лет;
- до 10000;
- от минус  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$   
до плюс  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

- низкие эксплуатационные расходы;
- температура окружающей среды, после воздействия

которой сохраняется работоспособность

- от минус  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$   
до плюс  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$

Эти свойства делают их незаменимыми для использования в оборудовании, работающем в жестких климатических условиях.

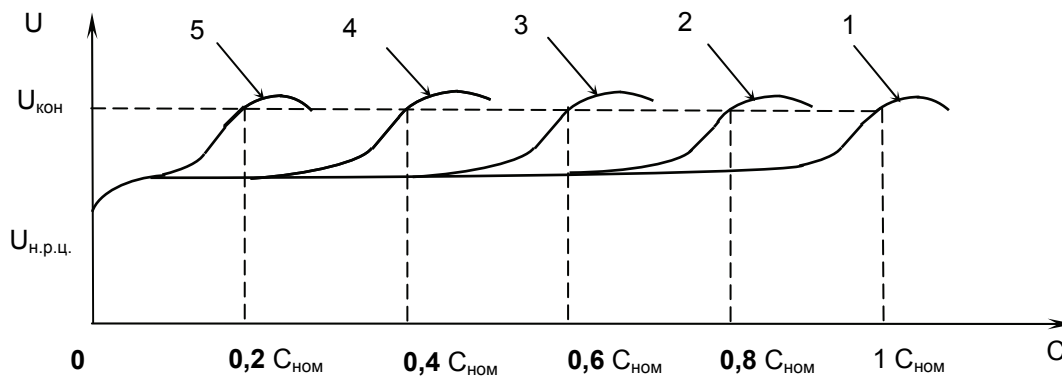
В настоящее время по общепринятой технологии для исключения влияния предыстории разряда на параметры заряженных батарей их предварительно разряжают до заданного напряжения, тем самым приводят их в одинаковое состояние перед зарядом. Эта операция позволяет добиться удовлетворительной воспроизводимости параметров заряженных герметичных никель-кадмиевых аккумуляторных батарей, но увеличивает время переподготовки батарей. Так, в соответствии с инструкцией по эксплуатации герметичных аккумуляторов НКПЛГЦ-0,5 заряд аккумуляторов проводится током, численно равным  $0,1$  номинальной

емкости ( $0,1 C_{\text{ном}}$ ) в течение 14 часов после их разряда током, численно равным  $0,2 - 0,6 C_{\text{ном}}$  до напряжения 1 В. При такой технологии для полного заряда аккумулятора с неизвестной степенью заряженности требуется достаточно большой промежуток времени от 14 до 19 часов, что делает актуальным поиск режимов заряда, сокращающих время и эксплуатационные затраты на переподготовку герметичных аккумуляторов.

Одним из результатов поиска оптимальных режимов заряда стало установление факта нивелирования «эффекта памяти» у никель-кадмиевых аккумуляторов и аккумуляторных батарей при автоматизированном ускоренном заряде асимметричным током с определением окончания заряда по характерным участкам кривых заряда (критериям) без приведения в исходное (разряженное) состояние.

Результаты исследований доказывают, что при заряде никель-кадмиевых аккумуляторов и батарей асимметричным током вид кривой сохраняется в течение всей наработки и не зависит от того, заряжается полностью разряженная батарея или происходит ее подзаряд [2, 3].

На основании анализа полученных зависимостей изменения напряжения на аккумуляторах и аккумуляторных батареях различных типов при их заряде постоянным и асимметричным токами различной плотности были построены обобщенные кривые зарядов, которые соответствуют всем типам исследованных аккумуляторных батарей и отражают динамику процессов, происходящих при ускоренном заряде. Обобщенные зависимости изменения напряжения аккумуляторных батарей от их относительной емкости при ускоренном заряде асимметричным током представлены на рисунке. Кривые соответствуют различной степени заряженности или текущей ёмкости на разных этапах эксплуатации батарей.



Обобщенные зависимости изменения напряжения никель-кадмиевых аккумуляторов и батарей при ускоренном заряде асимметричным током: 1 – полностью разряженного аккумулятора (батареи); 2 – 5 – при контролируемой остаточной емкости 20, 40, 60 и 80 % от номинальной ёмкости, соответственно (метод обеспечения контролируемой остаточной емкости описан ниже)

В результате исследований [2, 3] установлено, что в течение срока службы кривые заряда, полученные при заряде асимметричным током (рисунок), сохраняют свою форму. Необходимо отметить, что во многих случаях практического применения никель-кадмиевых аккумуляторных батарей в каждый конкретный момент неизвестна степень заряженности батареи, а для оценки времени работы автономного устройства это необходимо. Поэтому на практике используют резервную заряженную батарею, что дорого, или выделяют необходимое время для переподготовки батареи. Переподготовка постоянным током занимает более 14 часов, а асимметричным током 1,5-2 часа [2-4]. В связи с этим можно утверждать, что наиболее перспективной технологией заряда аккумуляторов с неопределенной степенью заряженности является автоматизированная технология ускоренного заряда асимметричным током.

На основании проведенных ранее исследований режимов ускоренного заряда асимметричным током [1 – 4] были определены параметры асимметричного тока заряда: диапазон частот асимметричного тока  $f = (4 \div 10)$  Гц, соотношение амплитуд катодного импульса к анодному  $n = I_k/I_a = 3 \div 5$ , коэффициент заполнения катодного импульса  $\gamma = (0,04 \div 0,10)$ , пауза между импульсами  $\tau = 2$  мс. Для исследований как наиболее эффективный с точки зрения простоты реализации и получаемого эффекта был выбран режим со следующими параметрами  $f = 4$  Гц,  $n = 3$ ,  $\gamma = 0,04$ ,  $\tau = 2$  мс.

В результате исследований было установлено, что автоматизированный ускоренный заряд герметичных аккумуляторов и аккумуляторных батарей плотностью тока  $1,2 \div 0,8 C_{\text{ном}}$  увеличивает ресурс наработки.

Целью настоящей работы является доказательство возможности и эффективности применения автоматизированного ускоренного заряда асимметричным током герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов и аккумуляторных батарей с неопределенной степенью заряженности без предваритель-

ного разряда батарей до 1 В на аккумулятор на примере аккумуляторов НКПЛГЦ-0,5 и аккумуляторных батарей 4НКПЛГЦ-0,5.

### Экспериментальная часть

Исследования проводили на аккумуляторах НКПЛГЦ-0,5, которые были собраны в две аккумуляторные батареи 4НКПЛГЦ-0,5, причем сборку производили из отдельных, подобранных по отдаваемой ёмкости аккумуляторов. Заряд батарей осуществляли асимметричным током в автоматизированном ускоренном режиме ( $I_{зар} \geq I_{ном}$ ) с отключением заряда при достижении на батарее граничного уровня напряжения (далее – режим автоматизированного ускоренного заряда) [4]. Граничное напряжение определяли как максимальное напряжение, указанное в инструкции по эксплуатации аккумуляторов НКПЛГЦ-0,5, умноженное на количество аккумуляторов в батарее.

Выбор данной методики связан с тем, что разброс параметров аккумуляторных батарей определяется разбросом параметров составляющих её аккумуляторов, что позволяет исследовать стабильность параметров заряженных аккумуляторов при работе их в батарее. Кроме этого, использование батарей имеет следующие преимущества:

- снижение погрешности установки уровня граничного напряжения, приходящейся на один аккумулятор (погрешность установки напряжения в данном случае делится на число аккумуляторов в батарее);
- выравнивание условий заряда и разряда для аккумуляторов при их последовательном соединении в батарее (ток одинаков во всех аккумуляторах батареи);
- ускорение процесса получения опытных данных.

Исследование проводилось по следующей методике:

1. Полностью разряженные аккумуляторы (до напряжения 1 В) собирали в две батареи 4НКПЛГЦ-0,5 и каждую заряжали асимметричным током режимом автоматизированного ускоренного заряда со средней плотностью тока 0,5 А.

2. Разряжали каждый аккумулятор отдельно током, численно равным  $0,2C_{ном}$  до напряжения 1В, тем самым определили значение его ёмкости.

3. Батареи заряжали асимметричным током режимом автоматизированного ускоренного заряда со средней плотностью тока 0,5 А.

4. Батареи разряжали на 20% от  $C_{ном}$ , и снова заряжали асимметричным током режимом автоматизированного ускоренного заряда со средней плотностью тока 0,5 А.

5. Выполняли п. 2.

6. Последовательно выполняли п. 3, 4 и 5, разряжая батареи по п. 4 на 40, 60 и 80 % от  $C_{ном}$  соответственно.

Разрядом аккумуляторов на 20, 40, 60, 80 % от  $C_{ном}$  имитировали неопределенную степень заряженности батареи. Разряд аккумуляторных батарей на определенное, заранее заданное значение относительно  $C_{ном}$  предполагает проверку возможности заряда аккумуляторов, находящихся в разной степени заряженности, до полной ёмкости. С нашей точки зрения, выбранные значения остаточной емкости не могли каким бы то ни было образом повлиять на разрядную ёмкость заряженных после этого аккумуляторов, так как окончание заряда задается не оператором, а определяется автоматизированным устройством заряда по уровню напряжения на батарее. Таким образом, окончание заряда определялось только изменением состояния аккумуляторов в процессе заряда. Во время проведения эксперимента уровень граничного напряжения в устройстве заряда не менялся, а условия его проведения соответствовали нормальным климатическим условиям.

В результате выполнения последовательности действий, описанных выше, получены 40 значений разрядной ёмкости ( $C_{отд}$ ), которые представлены в табл. 1.

Количество интервалов разбиения полученных значений вычислялось по формуле из [2]:

$$k=1+3,2 \lg n=6,127 \approx 7, \text{ при } n=40.$$

Величина интервала изменения ёмкости  $\Delta C_{отд}$  вычислялась по формуле

$$\Delta C_{отд} = \left( \left( C_{отд} - C_{ном} \right)_{\max} - \left( C_{отд} - C_{ном} \right)_{\min} \right) / k = 23 \text{ мА} \cdot \text{ч}.$$

Значения, соответствующие границам  $\Delta C_{отд}$ , приведены в табл. 2 (колонка 1).

556740,100767447298722·10<sup>6</sup>78 Проверка гипотезы соответствия изучаемого распределения нормальному закону распределения (закону Гаусса) проводилась по методике, описанной в [5], путем сравнения генеральных параметров теоретического распределения и их оценок, полученных по выборке.

Выборочные значения результатов измерения ёмкостей аккумуляторов приведены в табл. 2. Для вычисления статистических начальных и центральных моментов использовались середины интервалов разбиения случайной величины  $\tilde{x}_i$ . Относительная частота вычислялась по формуле:

$$p_i^* = n_i^* / n ,$$

где  $n$  – количество опытов,  $n_i^*$  – количество значений случайной величины, попадающих в интервал.

Таблица 1

Ёмкости аккумуляторов НКПлГЦ-0,5, заряженных по способу автоматизированного ускоренного заряда

№ п/п	$C_{отд}$ мА·ч	$C_{отд} - C_{ном}$ мА·ч	№ п/п	$C_{отд}$ мА·ч	$C_{отд} - C_{ном}$ мА·ч	№ п/п	$C_{отд}$ мА·ч	$C_{отд} - C_{ном}$ мА·ч	№ п/п	$C_{отд}$ мА·ч	$C_{отд} - C_{ном}$ мА·ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	418	-82	11	475	-25	21	505	5	31	525	25
2	420	-80	12	480	-20	22	505	5	32	536	36
3	450	-50	13	480	-20	23	512	12	33	537	37
4	462	-38	14	483	-17	24	516	16	34	538	38
5	462	-38	15	486	-14	25	516	16	35	542	42
6	462	-38	16	495	-5	26	516	16	36	545	45
7	465	-35	17	497	-3	27	518	18	37	572	72
8	465	-35	18	500	0	28	520	20	38	578	78
9	465	-35	19	500	0	29	523	23	39	578	78
10	466	-34	20	503	3	30	525	25	40	578	78

Таблица 2

Результаты распределения опытных данных и вычисления выборочных значений

$C_{отд} - C_{ном}$ мА·ч	$\tilde{x}_i$ мА·ч	$n_i^*$	$p_i^*$	$\tilde{x}_i \cdot p_i^*$ мА·ч	$\tilde{x}_i - m^*$ мА·ч	$p_i^*(\tilde{x}_i - m^*)^2$	$p_i^*(\tilde{x}_i - m^*)^3$	$p_i^*(\tilde{x}_i - m^*)^4$
-82	-71	2	0,050	-4	-71	249	-17559	$10^6$
-59	-48	5	0,125	-6	-48	284	-13526	$6 \cdot 10^5$
-36	-25	8	0,200	-5	-25	123	-3033	$8 \cdot 10^4$
-13	-2	7	0,175	0	-2	1	-1	2
10	21	9	0,225	5	21	100	2098	$4 \cdot 10^4$
33	44	5	0,125	5	44	241	10610	$5 \cdot 10^5$

Другие статистические характеристики выборки рассчитывались по приближенным формулам из источника [5]:

статистическое среднее  $- m^* = M^*[X] = \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i \cdot p_i^* ;$

статистическая дисперсия  $- D^* = D^*[X] = \sum_{i=1}^k (\tilde{x}_i - m^*)^2 \cdot p_i^* ;$

статистическое среднеквадратичное отклонение  $- \sigma^* = \sqrt{D^*} ;$

коэффициент асимметрии  $- \gamma_1^* = \frac{\mu_3^*}{s_x^3} = \frac{1}{n \cdot s_x^3} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m^*)^3 ;$

коэффициент эксцесса  $- \gamma_2^* = \frac{\mu_4^*}{s_x^4} = \frac{1}{n \cdot s_x^4} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m^*)^4 - 3 .$

Дисперсии этих величин

$$D(\gamma_1^*) = \frac{6 \cdot (n-1)}{(n+1) \cdot (n+3)};$$

$$D(\gamma_2^*) = \frac{24 \cdot n \cdot (n-2) \cdot (n-3)}{(n+1)^2 \cdot (n+3) \cdot (n+5)},$$

где  $n = 40$  - объем выборки.

В результате вычисления формул получаем:

$$m^* = -2 \text{ МА} \cdot \text{ч}; D^* = 1444; \sigma^* = 38 \text{ МА} \cdot \text{ч};$$

$$\gamma_1^* = -0,54; \gamma_2^* = -0,81; D(\gamma_1^*) = 0,13; D(\gamma_2^*) = 0,41.$$

Поскольку:

$$|\gamma_1^*| = |-0,54| < 3 \cdot \sqrt{D(\gamma_1^*)} = 1,09,$$

$$|\gamma_2^*| = |-0,81| < 5 \cdot \sqrt{D(\gamma_2^*)} = 3,22,$$

и неравенства соблюдаются, то наблюдаемое распределение соответствует нормальному закону.

Применение критерия Пирсона для оценки согласованности теоретического и статистического распределений производилось по формулам:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i};$$

$$r = k - s,$$

где  $s$  - число наложенных связей (для нормального закона распределения  $s = 3$ ),  $n_i$  - статистическая частота,  $p_i$  - теоретическая вероятность нормального закона распределения с параметрами:

$$m = -2 \text{ МА} \cdot \text{ч}; D = 1444; \sigma = 38 \text{ МА} \cdot \text{ч}; \chi^2 = 3,11; r = 4.$$

Теоретические вероятности попадания в разряды вычислялись по формуле:

$$p_i(x_i \leq x \leq x_{i+1}) = \frac{1}{2} \left[ \hat{\Phi} \left( \frac{x_{i+1} - m}{\rho \cdot \sigma \cdot \sqrt{2}} \right) - \hat{\Phi} \left( \frac{x_i - m}{\rho \cdot \sigma \cdot \sqrt{2}} \right) \right],$$

где  $\hat{\Phi}$  - приведенная функция Лапласа, значения которой для вычисленных значений аргументов на границах интервалов находим по данным табл. 3 [5].

Таблица 3

Данные для вычисления критериев Пирсона и Колмогорова

Границы интервалов	$n_i$	$\frac{x_i - m}{\rho \cdot \sigma \cdot \sqrt{2}}$	$\hat{\Phi}$	$n \cdot p_i$	$\frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$	$n \cdot F_n(x)$	$n \cdot F(x)$	$n \cdot [F_n(x) - F(x)]$
-80	2	-3,20	-0,9997	2,02	0,00	2	2,0	0,0
-60	5	-2,42	-0,8988	3,29	0,89	7	5,3	1,7
-40	8	-1,64	-0,7342	5,83	0,81	15	11,1	3,9
-20	7	-0,86	-0,4427	7,89	0,10	22	19,0	3,0
0	9	-0,08	-0,0484	8,14	0,09	31	27,2	3,8
20	5	0,70	0,3584	6,40	0,31	36	33,6	2,4
40	4	1,48	0,6786	6,42	0,91	40	40,0	0,0
60		2,26	0,9997					

По  $r$  и  $\chi^2$  с помощью специальной таблицы определялись вероятности того, что величина, имеющая распределение  $\chi^2$  с  $r$  степенями свободы, превзойдет данное значение  $\chi^2$ . Если вероятность мала, то предположение о том, что данная случайная величина подчинена нормальному закону распределения, отбрасывается как неправдоподобная. Если эта вероятность относительно велика, то предположение можно признать не противоречащим опытными данным. На практике, если уровень значимости  $q$  оказывается меньшим, чем 0,1, рекомендуется проверить эксперимент.



По специальным таблицам для  $r=4$ , находилось значение  $\chi_{0,50}^2 = 3,36$ . Так как вычисленное значение  $\chi^2 = 3,11 < \chi_{0,50}^2 = 3,36$ , то есть неравенство выполняется, следовательно, можно утверждать, что гипотеза о нормальном распределении наблюдаемой случайной величины согласуется с опытными данными при уровне значимости  $q = 0,5$ .

Для гарантии сделанного вывода дополнительно проверялась гипотеза о соответствии наблюдаемого распределения нормальному закону с помощью критерия Колмогорова [6]. Схема применения критерия Колмогорова следующая: строилась статистическая функция распределения  $n \cdot F_n(x)$  и предполагаемая теоретическая функция распределения  $n \cdot F(x)$ , определялся максимум  $D$  модуля разности между ними, вычислялась  $\lambda = D \cdot \sqrt{n}$  и по специальной таблице находилась вероятность  $p(\lambda)$ . Это вероятность того, что за счет чисто случайных причин максимальное расхождение между  $n \cdot F_n(x)$  и  $n \cdot F(x)$  будет не меньше, чем фактически наблюдаемое. Если вероятность  $p(\lambda)$  весьма мала, на практике уровень значимости принимается равным  $0,2 \div 0,3$ . При  $\lambda > \lambda_{0,3}$  гипотеза считается сомнительной, при  $\lambda < \lambda_{0,3}$  гипотезу можно считать совместимой с опытными данными.

В столбце 7 табл. 3 приведены значения статистической функции  $n \cdot F_n(x)$  распределения, в столбце 8 приведены значения теоретической функции  $n \cdot F(x)$  распределения, соответствующая разность между ними отображена в столбце 9. Из данных таблицы следует

$$n \cdot D = \max n |F_n(x) - F(x)| = 3,9;$$

$$\lambda = \frac{n \cdot D}{\sqrt{n}} = 0,61.$$

По специальной таблице для уровня значимости  $q=0,3$ ,  $\lambda_{0,3} = 0,97$ . Так как  $\lambda = 0,61 < \lambda_{0,3} = 0,97$ , то критерий Колмогорова позволяет считать рассматриваемое распределение соответствующим нормальному закону.

Анализ полученных результатов проводился по методике, описанной в [7].

С целью корректного анализа полученного фактического материала была проведена оценка погрешности результатов измерения ёмкости аккумуляторов. В нашем случае она складывалась из систематической абсолютной погрешности  $\varepsilon_I$  прибора (класс 0,5), равной  $\pm 0,75$  мА и случайной погрешности измерения временных интервалов  $\varepsilon_t$ . Для оценки случайной погрешности измерения временного интервала границы допуска по напряжению на аккумуляторе в конце разряда, равные  $\pm 0,1$  В, наложили на кривую разряда аккумулятора током пятичасового режима и получили  $\varepsilon_t = \pm 0,09$  часа. Согласно [7] предел погрешности результата получается суммированием абсолютных значений пределов погрешности отдельных измеренных значений:

$$\varepsilon_{\text{полн}} = \pm \left( |\varepsilon_I| \cdot t_{\text{разр}} + |\varepsilon_t| \cdot I_{\text{разр}} \right) = \pm 13 \text{ мА} \cdot \text{ч},$$

где  $\varepsilon_I = \pm 0,75$  мА – погрешность измерения тока разряда,  $t_{\text{разр}} = 5$  часов,  $\varepsilon_t = \pm 0,09$  часа,  $I_{\text{разр}} = 100$  мА, что составляет  $\pm 2,6\%$  от  $C_{\text{ном}} = 500$  мА·ч.

Для найденного закона распределения математическое ожидание практически совпадает с  $C_{\text{ном}} = 500$  мА·ч, т.к. центрированное математическое ожидание (с центром равным  $C_{\text{ном}}$ )  $m \approx 0$ . Интервал значений случайной величины  $\pm 3\sigma$ , соответствующий доверительной вероятности 99%, попадает в диапазон  $\pm 0,23C_{\text{ном}}$ . Полный диапазон с учетом погрешности измерения равен  $\pm 0,25C_{\text{ном}}$ , что соответствует рабочему состоянию аккумулятора в процессе наработки (нижней границей рабочего состояния является  $C_{\text{гран}} = 0,6C_{\text{ном}}$ ).

### Результаты и их обсуждение

Предложена методика исследования процессов заряда-разряда аккумуляторов с заданной и неизвестной степенью заряженности в составе батарей.

Результаты математической обработки экспериментальных данных по исследованию поведения аккумуляторов НКПЛГЦ-0,5 с известной остаточной емкостью, заряженных без предварительного разряда в составе батареи асимметричным током по способу автоматизированного ускоренного заряда с отключением заряда при достижении на батарее граничного уровня напряжения [4], показана

ли, что применение данного способа для аккумуляторов и батарей с неопределенной степенью заряженности обеспечивает стабильный заряд аккумуляторов до полной емкости без их предварительного разряда. Аналогичные исследования [2, 3] показали, что применение разработанного способа для батарей с неопределенной степенью заряженности также обеспечивает их стабильный заряд до полной емкости без предварительного разряда.

Таким образом, доказаны:

- 1) эффективность использования способа ускоренного заряда асимметричным током [4] аккумуляторов и батарей с неизвестной степенью заряженности;
- 2) высокая стабильность и воспроизводимость параметров аккумуляторов и батарей, заряженных по способу ускоренного заряда асимметричным током [4];
- 3) возможность исключения операции предварительного разряда герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов и батарей при ускоренном заряде асимметричным током [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сметанкин Г.П. Имитационная модель поры металлокерамического оксидно-никелевого электрода / Г.П. Сметанкин, С.С. Матекин, А.С. Бурдюгов // Электрохимическая энергетика/ 2009. Т. 9. № 1. С. 40-43.
2. Сметанкин Г.П. Способы и автоматизированные средства ускоренного заряда герметичных щелочных аккумуляторов: дис. ... канд. техн. наук / Г.П. Сметанкин. Новочеркасск: НПИ, 2002. 162 с.
3. Бурдюгов А.С. Способы автоматизированного ускоренного заряда герметичных никель-кадмиевых аккумуляторных батарей: дис. ... канд. техн. наук / А.С. Бурдюгов. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2005. 168 с.
4. Пат. РФ №2207665 Способ автоматического ускоренного заряда герметичных никель-кадмиевых аккумуляторных батарей асимметричным током. 27. 10. 2003. Бюл. № 30.
5. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. М.: Высш. шк., 1978. 319 с.
6. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. М.:Физматлит, 1962. 564 с.
7. Измерения в промышленности: справочник. Кн. 1 / под ред. проф. П. Профоса. М.: Металлургия, 1990. 491 с.

**Сметанкин Георгий Павлович** –  
кандидат технических наук, доцент, заведующий  
отделом ОАО «ВЭЛНИИ», г. Новочеркасск

**Georgy P. Smetankin** –  
Ph.D., Associate Professor  
Head of Division  
All-Russian Research and Development Institute,  
Novocherkassk

**Бурдюгов Александр Сергеевич** –  
кандидат технических наук, заместитель  
заведующего отделом, ОАО «ВЭЛНИИ»,  
г. Новочеркасск

**Alexander S. Burdyugov** –  
Ph.D., Deputy Head of Division  
All-Russian Research and Development Institute,  
Novocherkassk

**Плохова Татьяна Владиславовна** –  
младший научный сотрудник ОАО «ВЭЛНИИ»,  
г. Новочеркасск

**Tatyana V. Plokhova** –  
Junior Researcher  
All-Russian Research and Development Institute,  
Novocherkassk

**Сербиновский Михаил Юрьевич** –  
доктор технических наук, профессор кафедры  
«Летательные аппараты»,  
ТТИ ЮФУ, г. Новочеркасск

**Mikhail Yu. Serbinovsky** –  
Dr.Sc., Professor  
Department of Air Vehicles,  
Taganrog Technological Institute of  
Southern Federal University, Novocherkassk

*Статья поступила в редакцию 12.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

## АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.233.5:631.53.04

**П.Г. Асалханов**

### **ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ МНОГОФАКТОРНЫЕ МОДЕЛИ В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКОВ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

*Рассматривается применение линейных и нелинейных уравнений регрессии для прогнозирования дат посева зерновых культур. По данным трех районов Иркутской области построены линейные и нелинейные уравнения регрессии зависимости срока агротехнологических операций, связанных с посевом, от сумм температур воздуха и сумм осадков за предшествующие периоды. В результате анализа факторов, влияющих на даты посева, для их прогнозирования предложено использовать однофакторные, двухфакторные полиномиальные и однофакторные линейные уравнения в зависимости от климатических особенностей муниципальных районов. Предложенные модели вошли в математическое обеспечение разработанного программного комплекса прогнозирования сроков агротехнологических операций.*

Многофакторный анализ, прогнозирование, дата посева, сельскохозяйственная культура, программный комплекс

**P.G. Asalkhanov**

### **LINEAR AND NONLINEAR MULTIPLE FACTOR MODELS IN THE PROBLEM OF FORECASTING THE TERMS OF AGROTECHNOLOGICAL OPERATIONS**

*Application of the linear and nonlinear equations of regression for forecasting the dates of the grain crops is considered. According to the data referring the three regions in Irkutsk region, the linear and nonlinear equations relating the regression of seasonal dependence of agrotechnological operations connected with crops, from the sums of air temperatures and sums of the precipitation for the previous periods are constructed. As a result of the analysis referring the factors influencing the dates of crops for their forecasting, it is offered to use one-factorial, two-factorial polynomial and one-factorial linear equations depending on the climatic features of municipal areas. The offered models are entered into the software of the developed program complex used for forecasting the terms of agrotechnological operations.*

Multiple-factor analysis, forecasting, crops date, crop, program complex

При планировании производства растениеводческой продукции актуальной проблемой является создание методики прогнозирования сроков агротехнологических операций. В условиях значительной изменчивости климатических условий, характерных для территории Восточной Сибири, прогнозирование дат посевов имеет особое значение [1].

Для различных сельскохозяйственных культур в зависимости от их требований к температуре и увлажнению, существуют рекомендации по дате начала посева. В качестве таковой для зерновых культур предлагается использовать дату прогрева почвы на глубине заделки семян до определенной температуры ( $t_d$ ) [2].

Несмотря на большое количество работ, посвященных планированию возделывания культур, мало внимания уделено прогнозированию сроков технологических операций [3].

Согласно [3], впервые предложены алгоритмы прогнозирования дат посева на основе линейных уравнений регрессии зависимости рекомендуемых дат посева ( $T_i$ ) от сумм среднесуточных температур воздуха ( $x_1$ ) и сумм осадков ( $x_2$ ) за предшествующие периоды  $k$ .

Для построения регрессионных моделей применяют агрометеорологические данные по пункту наблюдения за 7 и более лет. В качестве результирующего признака ( $y$ ) предложено использовать относительные даты прогрева почвы до оптимальной температуры ( $t_d$ ) как разность между ежегодной датой прогрева почвы  $T_i$  и датой, на 5 дней предшествующей самой ранней дате  $T_i$  за многолетний период.

В качестве начала периода суммирования параметров тепла и увлажнения  $k$  применяется дата перепада среднесуточной температуры воздуха, усредненной за многолетний период, через  $0^\circ\text{C}$ . Рассматриваются разные продолжительности этого периода: от 7 до 20 суток и более. В день окончания периода и при наличии данных о сумме температур и осадков, возможен расчет даты посева  $T_i$  на текущий год.

Качество полученных линейных уравнений неодинаково и зависит от климатических условий конкретного года и территории возделывания, количества факторов, периода суммирования параметров тепла и увлажнения  $k$ , многолетней продолжительности и заданной температуры прогрева, благоприятной для посева. Другими словами, уравнения имеют разную точность и адекватность и, следовательно, неодинаковую степень пригодности для прогнозирования. Для расчетов предлагается использовать зависимости с наибольшим коэффициентом детерминации или с наименьшей средней относительной ошибкой аппроксимации, при условии, что модель адекватна.

Для вычисления даты посева применительно к аграрному предприятию на текущий год задача сводится к выбору такого периода суммирования параметров, при котором уравнение регрессии имеет высокое значение коэффициента детерминации и достаточную заблаговременность прогноза – время от даты, когда возможен прогноз до расчетной даты посева. При увеличении периода суммирования параметров возможно повышение точности уравнений в ущерб заблаговременности прогноза. Однако не всегда уравнения с большим упреждением точнее.

Предложенные алгоритмы апробированы для трех районов Иркутской области, благоприятных для возделывания зерновых культур и находящихся в различных агроклиматических условиях: Иркутского, Усольского и Тулунского. Выявлено, что в отличие от Иркутского и Усольского районов для Тулунского района более пригодны двухфакторные линейные модели, однако точность уравнений регрессии в большинстве случаев невысока ( $R^2 < 0,4$ ). Для Иркутска уравнения регрессии обладают большей точностью, если в качестве оптимальной температуры для посева  $t_d$  использовать  $10$  или  $12^\circ\text{C}$ , для Усоля-Сибирского –  $8$  или  $10^\circ\text{C}$ , а для Тулуна –  $6^\circ\text{C}$ . Полученные значения для всех трех пунктов входят в диапазон температур пригодных для посева зерновых культур.

Линейные уравнения регрессии благодаря универсальности их применения и простоте широко используются для моделирования производственных параметров. Между тем далеко не всегда зависимости этих параметров можно выразить линейными функциями, так как при этом могут возникать неоправданно большие ошибки [4].

Наряду с линейными моделями возможно использование нелинейных функций: полинома, логарифмической, экспоненциальной, степенной и др. Применение нелинейных уравнений может увеличить точность аппроксимации, что положительно скажется на прогнозировании [5].

При использовании некоторых нелинейных уравнений необходимо, чтобы результирующий признак и факторы регрессии были положительными.

В качестве одного из факторов в регрессионных моделях, предложенных в [3], использовалась сумма среднесуточных температур воздуха за предшествующий период.

Для большинства рассматриваемых лет по Иркутску, Усолю-Сибирскому и Тулуну эта сумма температур за периоды суммирования  $k$  положительна. Однако в годы с холодными весенними периодами возможны их отрицательные значения. Например, в 2006 г. по данным Иркутска сумма температур с 1 по 19 апреля составила  $62,7^\circ\text{C}$ .

Для того, чтобы исключить отрицательные суммы температур, предлагается при расчете температуры использовать шкалу Фаренгейта ( $^\circ\text{F}$ ).

При этом формула перевода суммы температур по Цельсию в суммы температур по Фаренгейту выглядит следующим образом:

$$\sum_{i=1}^k t_F = \sum_{i=1}^k t_C \cdot \left(\frac{9}{5}\right) + 32 \cdot k, \quad (1)$$

где  $t_F$  и  $t_C$  – температуры в градусах Фаренгейта и Цельсия соответственно,  $k$  – продолжительность периода суммирования температур.

В работе для аппроксимации однофакторных зависимостей дат посева от суммы температур (данные Иркутска и Усоля-Сибирского) использовались следующие функции: линейная, полином второй степени, логарифмическая, степенная и экспоненциальная.

При описании двухфакторных зависимостей (данные Тулуна) рассматривались линейное, логарифмическое и полиномиальные выражения в различных вариантах. В качестве дополнительного фактора, помимо суммы среднесуточных температур  $x_1$  воздуха, использовалась сумма суточных осадков  $x_2$ .

В качестве температуры  $t_d$  для каждого пункта применялись рекомендуемые значения согласно [3]. Для Иркутска это значение  $10^\circ\text{C}$ , для Усоля-Сибирского –  $8^\circ\text{C}$ , а для Тулуна –  $6^\circ\text{C}$ .

Для каждого вида функции использовались периоды суммирования параметров, при которых уравнения имели наибольшее значение коэффициента детерминации. Для Иркутска при использовании полиномиальной функции коэффициент детерминации увеличивается до значения  $R^2=0,81$ , по сравнению с линейной зависимостью ( $R^2=0,72$ ). У остальных уравнений (логарифмического, степенного и экспоненциального) это значение ниже ( $R^2<0,7$ ). При этом согласно анализу остатка ряда результирующего признака модель признана адекватной.

Для Усоля-Сибирского характерны приблизительно одинаковые и достаточно высокие значения  $R^2$  для полинома второй степени, логарифмической и линейной зависимости  $R^2=0,81$ . Значения коэффициента детерминации для степенной и экспоненциальной функции ниже ( $R^2=0,71$  и  $0,76$  соответственно). Другими словами, для Иркутска применимы полиномиальная, а для Усоля-Сибирского – линейная модели.

В отличие от Иркутска и Усоля-Сибирского дата посева для Тулуна зависит от суммы температур и суммы осадков. На основе линейной аппроксимации получено уравнение регрессии с  $R^2=0,42$ . Применение функций в виде полинома позволило получить уравнения регрессии с высоким коэффициентом детерминации ( $R^2=0,80$ ), почти в два раза превышающим аналогичный показатель для линейной зависимости.

По данным Тулуна, полиномиальное уравнение обладает большим значением коэффициента детерминации ( $R^2=0,80$ ) по сравнению с линейной зависимостью ( $R^2=0,42$ ).

В табл. 1 приведены результаты сравнения точности некоторых линейных и нелинейных уравнений для всех трех пунктов и полученные прогностические даты прогрева почвы до оптимальной температуры.

Оценка точности моделей производилась по коэффициенту детерминации, стандартной ошибке и средней относительной ошибке аппроксимации. Согласно табл. 1, наибольшей точностью для Иркутска обладает полиномиальное уравнение, а линейное и логарифмическое имеют меньшую точность, но они также пригодны для прогнозирования. Ввиду больших относительных и абсолютных ошибок степенной и экспоненциальной зависимостей последние неприменимы для прогнозирования.

Для Усоля-Сибирского линейная и полиномиальная зависимость имеют практически одинаковую точность. Меньшей точностью обладает логарифмическая функция. Что касается степенной и экспоненциальной зависимости, то, как и в предыдущем случае, они не рекомендуются для использования в прогнозировании.

Высокие стандартные и средние относительные ошибки уравнений регрессии по некоторым пунктам связаны с тем, что в разные годы по-разному происходит накопление сумм температур и можно выделить два вида функции: одна – возрастающая, а вторая имеет волнообразный вид.

Расчетные даты посева зерновых на 2012 г. согласно уравнениям с наибольшими точностями (табл. 1) составили 30 апреля для Иркутска (дата прогрева почвы до  $10^\circ\text{C}$ ), 29 апреля для Усоля-Сибирского (дата прогрева почвы до  $8^\circ\text{C}$ ) и 2 мая для Тулуна (дата прогрева почвы до  $6^\circ\text{C}$ ), что согласуется с реальными значениями.

Качество полученных регрессионных моделей также можно оценить с помощью ретроспективного прогноза. Для этого по нескольким прошедшим годам рассчитывается дата посева по данным за предшествующие им годы. При этом в зависимости от прогнозируемого года используются разные периоды суммирования, многолетние продолжительности и соответственно разные уравнения регрессии. Для расчетов дат посева в ретроспективном прогнозе для Иркутска и Тулуна применимы полиномиальные уравнения из табл. 1, так как они обладают наибольшими точностями, а для Усоля-Сибирского – линейные. В табл. 2 приведены некоторые результаты ретроспективного прогноза по трем пунктам.

Одной из проблем в построении уравнений регрессии является отсутствие фактических агроклиматических данных по некоторым годам и пунктам наблюдений. По Усолю-Сибирскому полностью отсутствуют сведения по температуре почвы за 1998, 2000, 2006-2008, 2011 гг. По Тулуну нет данных по этому показателю ранее 1 мая за многолетний период. В то же время прогрев почвы до  $6^\circ\text{C}$  за некоторые годы может осуществляться ранее этой даты. Поэтому при построении моделей по

этим пунктам использовались неполные выборки. Для восстановления отсутствующих данных по температуре почвы на глубине 5 см можно использовать температуры воздуха ввиду высокой корреляции этих параметров. Кроме того, температура почвы в Тулуне может быть восстановлена по данным соседних пунктов.

Оценка точности ретроспективных прогнозов для трёх пунктов приведена в табл. 3. Оценивались стандартная ошибка и средняя относительная погрешность отклонений фактических от расчетных дат по каждому году.

По данным табл. 3 можно сделать вывод об удовлетворительной точности ретроспективных прогнозов по всем трём пунктам. Стандартная ошибка прогноза по Иркутску составляет 4,2, что вполне приемлемо для расчетов. При этом использовались данные за достаточно продолжительный период – 14 лет. Наименьшей точностью обладают прогнозы по Усолью-Сибирскому. Аналогичный показатель по Тулуну достаточно высок, однако, как и в случае с предыдущим пунктом, для расчетов уравнений в них использовались данные по малому количеству лет (5 и 6 лет соответственно). Этим можно частично объяснить низкую точность ретроспективного прогноза по Усолью-Сибирскому.

Полученные модели и прогнозы позволили разработать программный комплекс прогнозирования сроков посева. В него входит база данных, включающая агроклиматические сведения: суточные средние температуры воздуха и осадки, температуры почвы на глубине 5 см и другие. Основным источником данных являются гидрометеорологические станции региона. Между тем простота получения информации позволяет использовать данные сельскохозяйственных предприятий о температуре воздуха, почвы и осадках. Кроме того, в качестве дополнительной информации возможно использование прогностических данных о температуре.

На рисунке показано функционирование программного комплекса и его взаимодействие с другими комплексами.

Таблица 1

Оценка точности линейных и нелинейных уравнений регрессии для Иркутской области

Показатели	Пункт наблюдения	Линейная функция	Полиномиальная функция
Уравнение регрессии	Иркутск	$y = -0,067x + 60,3$	$y = -0,00018x^2 + 0,21x - 29,7$
Рекомендуемая температура $t_d$		10°C	
Многолетний период		1989 – 2009 гг.	
Период суммирования параметров		1-19 апреля	
Коэффициент детерминации		0,72	0,81
Стандартная ошибка		2,7	2,5
Средняя относительная погрешность, %		16,80	14,10
Расчетная дата посева на 2012 г.		30 апреля	30 апреля
Уравнение регрессии	Усолье-Сибирское	$y = -0,071x + 66,4$	$y = 0,00001x^2 - 0,079x + 69,6$
Рекомендуемая температура $t_d$		8°C	
Многолетний период		1987 – 2010 гг.	
Период суммирования параметров		1-21 апреля	
Коэффициент детерминации		0,81	0,81
Стандартная ошибка		2,3	2,3
Средняя относительная погрешность, %		13,20	13,43
Расчетная дата посева на 2012 г.		29 апреля	29 апреля
Уравнение регрессии	Тулун	$y = -0,048x_1 + 0,047x_2 + 40,4$	$y = -1,05x_1^2 - 0,096x_2^2 + 0,00072x_1 + 0,0027x_2 + 386$
Рекомендуемая температура $t_d$		6°C	
Многолетний период		1987 – 2008 гг.	
Период суммирования параметров		11-30 апреля	
Коэффициент детерминации		0,42	0,80
Стандартная ошибка		2,2	1,3
Средняя относительная погрешность, %		30,10	15,30
Расчетная дата посева на 2012 г.		4 мая	2 мая

Таблица 2

Результаты ретроспективного прогноза рекомендуемых дат посева зерновых  
на основе полиномиальной зависимости

Пункт наблюдения	Прогнозируемый год	Многолетний период	Коэффициент детерминации уравнения регрессии	Фактическая дата прогрева почвы до $t_d$	Расчетная дата посева	Расхождение фактической и расчетной дат
Иркутск	2002	1989-2001	0,80	7 мая	9 мая	-2
	2003	1989-2002	0,79	5 мая	5 мая	0
	2004	1989-2003	0,78	11 мая	6 мая	5
	2005	1989-2004	0,75	11 мая	7 мая	4
	2006	1989-2005	0,74	13 мая	10 мая	3
	2007	1989-2006	0,78	28 апреля	29 апреля	-1
	2008	1989-2007	0,81	10 мая	5 мая	5
	2009	1989-2008	0,77	25 апреля	28 апреля	-2
	2010	1989-2009	0,81	10 мая	12 мая	-2
	2011	1989-2009	0,81	08 мая	24 апреля	13
	2012	1989-2009	0,81	н.д.	30 апреля	-
Усолье-Сибирское	1997	1987-1996	0,79	22 апреля	4 мая	12
	2002	1987-1997	0,89	4 мая	3 мая	-1
	2003	1987-2002	0,84	2 мая	3 мая	1
	2004	1987-2003	0,83	6 мая	4 мая	-2
	2005	1987-2004	0,83	8 мая	3 мая	-5
	2010	1987-2005	0,78	16 мая	5 мая	-11
	2011	1987-2010	0,81	н.д.	23 апреля	-
	2012	1987-2010	0,81	н.д.	29 апреля	-
Тулун	2000	1987-1999	0,96	н.д.	14 мая	-
	2002	1987-2001	0,69	1 мая	2 мая	-1
	2003	1987-2002	0,71	3 мая	2 мая	1
	2004	1987-2003	0,69	6 мая	3 мая	3
	2005	1987-2004	0,69	6 мая	5 мая	1
	2006	1987-2005	0,72	11 мая	16 мая	-5
	2007	1987-2006	0,80	н.д.	14 мая	-
	2009	1987-2008	0,80	н.д.	5 мая	-
	2012	1987-2008	0,80	2 мая	2 мая	0

Таблица 3

Оценка точности ретроспективного прогноза рекомендуемых дат посева зерновых

Пункт наблюдения	Иркутск	Усолье-Сибирское	Тулун
Рекомендуемая температура $t_d$	10°C	8°C	6°C
Многолетний период	1989 – 2009	1987 – 2010	1987 – 2008
Прогнозируемые годы	1997 2012	1997 – 2012	2000 – 2009
Количество прогнозируемых лет	14	6	5
Стандартная ошибка	4,2	7,6	3,0
Средняя относительная погрешность, %	12,3	16,1	9,9

Система предназначена для использования на средних и крупных аграрных предприятиях Иркутской области, расположенных в разных природно-экономических зонах. Основными пользователями системы являются агроном и экономист. Полученные результаты расчета рекомендуемых дат можно использовать в других программных комплексах – АСУ «Хозяйство» для расчета технологи-

ческих карт и ГИС-системах для получения карты пространственного распределения прогностических дат посева. Использование этого программного комплекса на предприятиях растениеводческой отрасли позволяет повысить эффективность планирования производства.

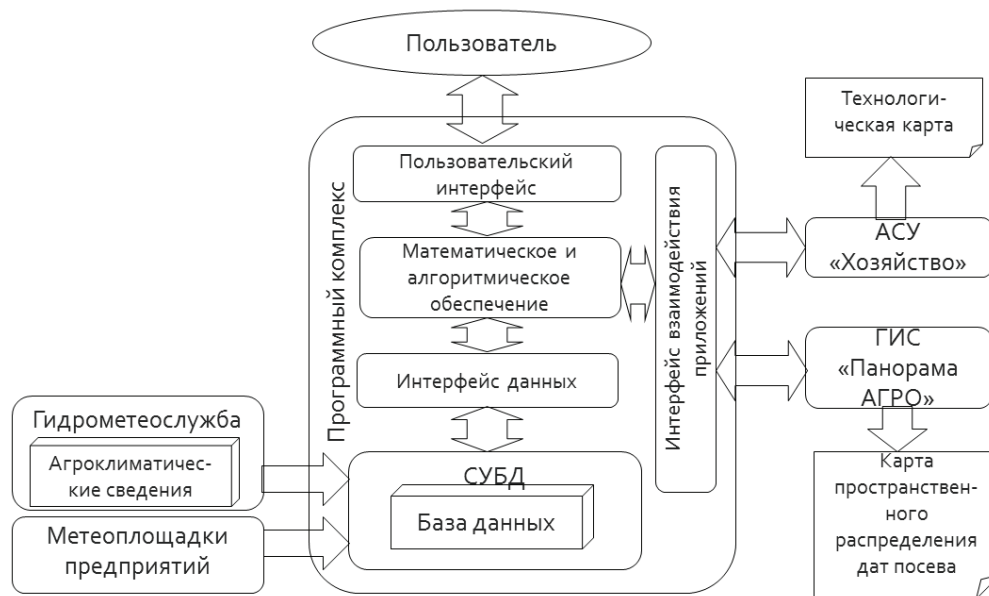


Схема функционирования программного комплекса прогнозирования сроков посева

Таким образом, построены различные линейные и нелинейные функции аппроксимации зависимости рекомендуемых дат посева зерновых от сумм температур и осадков за предшествующие периоды по Иркутску, Усолью-Сибирскому и Тулуну. Выявлено, что для Иркутска и Усолья-Сибирского наибольшей точностью обладают однофакторные уравнения зависимости дат посева от сумм температур, причем для первого пункта лучшей является полиномиальная функция, а для второго – линейная. По данным Тулуна наилучшей моделью для прогноза является двухфакторное полиномиальное уравнение. Проведен ретроспективный прогноз рекомендуемых дат посева зерновых по данным вышеназванных пунктов. В отличие от Усолья-Сибирского по Иркутску уравнения имели приемлемую точность для прогноза. Невысокая точность уравнений по первому пункту связана с отсутствием данных за некоторые годы.

Разработан программный комплекс прогнозирования сроков посева сельскохозяйственных культур на основе полученных моделей. Комплекс предназначен для использования на крупных и средних предприятиях растениеводческой отрасли и в сочетании с ГИС-системами позволяет строить интерактивные карты пространственно-временного распределения рекомендуемых дат посева по Иркутской области.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Растениеводство / Г.С. Посыпанов, В.Е. Долгодворов, Б.Х. Жеркухов и др. М.: КолосС, 2007. 612 с.
2. Хуснидинов Ш.К. Растениеводство Предбайкалья: учеб. пособие / Ш.К. Хуснидинов, А.А. Долгополов. Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2000. 462 с.
3. Асалханов П.Г. О некоторых алгоритмах прогнозирования дат технологических операций возделывания зерновых культур / П.Г. Асалханов, Я.М. Иванько // Вестник ИрГСХА. Вып. 47. Иркутск: ИрГСХА, 2011. С. 116-120.
4. Иванько Я.М. Методы моделирования производственных процессов в АПК: учеб. пособие по самостоятельной работе / Я.М. Иванько, М.Н. Барсукова, Т.С. Бузина. Иркутск: ИрГСХА, 2008. 184 с.
5. Эконометрика: учеб. / под ред. И.И. Елисеевой. М.: Финансы и статистика, 2003. 344 с.

**Асалханов Пётр Георгиевич** – старший преподаватель кафедры «Информатика и математическое моделирование» Иркутской государственной сельскохозяйственной академии

**Peter G. Asalkhanov** – Senior Lecturer  
Department of Informatics and Mathematical Modeling  
Irkutsk State Agricultural Academy

Статья поступила в редакцию 15.07.12, принята к опубликованию 06.11.12



**С.В. Куранов, В.А. Иващенко**

## **ПОСТРОЕНИЕ АСУ ТП ВАРКИ СТЕКЛА НА ОСНОВЕ UML-ТЕХНОЛОГИИ**

*Предложен подход к построению АСУ ТП варки стекла, основанный на UML-технологии. Такой подход облегчает работу, связанную с проектированием, модернизацией и дальнейшим развитием системы управления.*

Технологический процесс, варка стекла, автоматизированное управление, информационные технологии, UML-технология

**S.V. Kuranov, V.A. Ivaschenko**

## **BUILDING AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR GLASS MELTING BASED ON UML-TECHNOLOGY**

*An approach is presented for the construction of glass melting process control system based on the UML-technology. It facilitates the work associated with the design, modernization and further development of control systems.*

Process, cooking glass, automatic control, information technologies, UML-technology

### **Введение**

Управление варкой стекла представляет собой сложную задачу. Эта сложность обусловлена тем, что эффективность производства листового стекла сильно зависит от факторов разной природы (параметры варки, формования, отжига, резки; уровень квалификации персонала; условия окружающей среды и др.). К тому же имеет место запаздывание по каналам управления, которое может достигать нескольких суток [1].

Поэтому для решения данной задачи целесообразно применять методы объектно-ориентированного проектирования [2]. Их использование позволяет сократить время проектирования и облегчить документирование системы, упростить общение и взаимодействие участников разработки системы и облегчить ее модификацию в процессе развития.

### **Построение АСУ ТП варки стекла на основе UML-технологии**

Настоящая работа посвящена решению задачи по построению АСУ ТП варки стекла на основе ТП на отдельные этапы, на каждом из которых он представляется в виде совокупности графических конструкций – UML-диаграмм.

Исходным концептуальным представлением проектируемой системы являются диаграммы вариантов использования, которые представляют собой спецификацию последовательности действий, совершаемых системой при диалоге с участниками (актерами) процесса управления, а также реакции на полученные сообщения от них.

В качестве акторов процесса управления ТП варки стекла выступают два субъекта – АСУ ТП и оператор (стекловар), взаимодействие которых с ТП представлено в виде UML-диаграммы, приведенной на рис. 1.

Из диаграммы видно, что функции по управлению ТП варки стекла распределены между АСУ ТП и оператором. После успешной авторизации оператор может запрашивать или изменять соответствующие параметры ТП. АСУ ТП при этом реализует оперативное управление ТП, отслеживая и корректируя параметры варки стекла, в том числе с помощью нечеткого управления [3], а также отвечает за выполнение команд по изменению параметров ТП в случае, если от оператора поступила соответствующая команда.

Участники процесса управления (актеры) могут находиться в том или ином состоянии, переходить из одного состояния в другое, выполняя при этом определенные действия. Это отражается с помощью диаграммы состояний ТП (рис. 2).

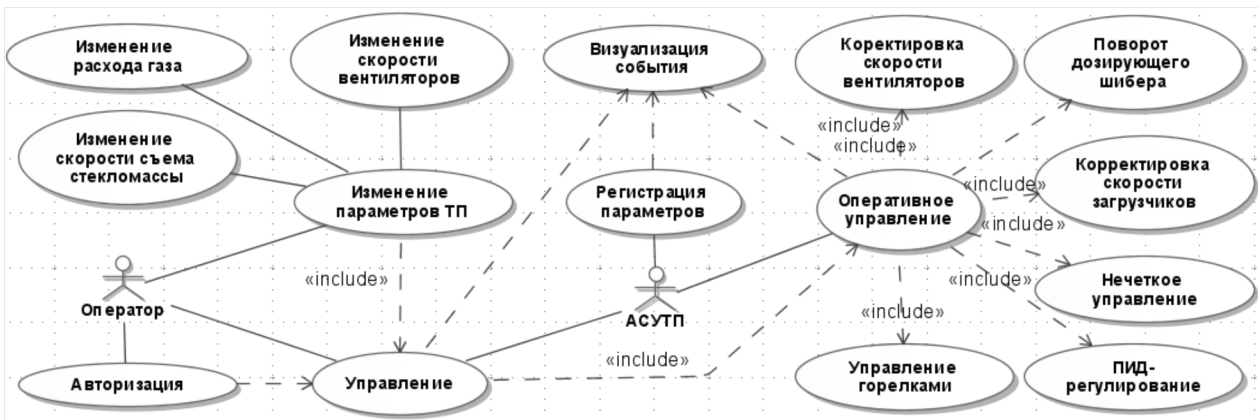


Рис. 1. Взаимодействие АСУ ТП и оператора при управлении ТП варки стекла

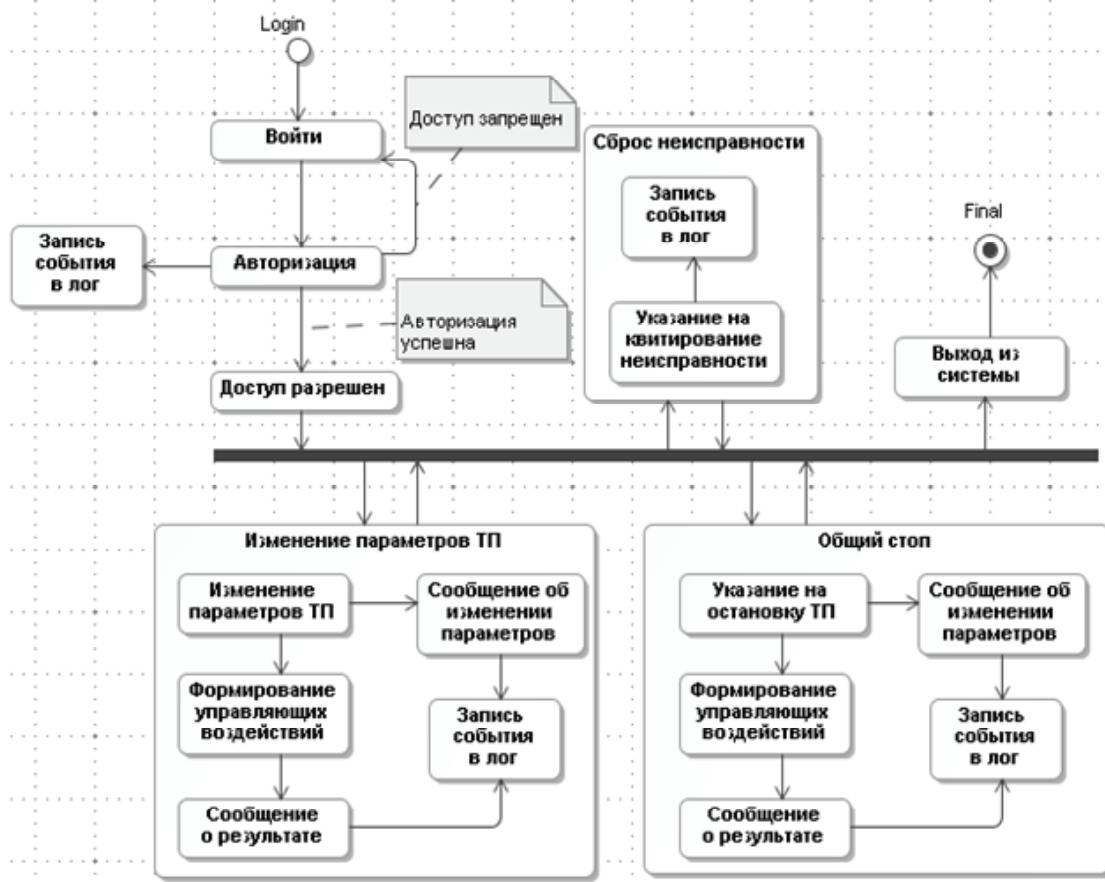


Рис. 2. Диаграмма состояний ТП варки стекла

Взаимодействие между компонентами ТП осуществляется путем передачи совокупности сообщений, которыми объекты обмениваются между собой. Для планирования порядка следования сообщений и временных интервалов взаимодействия компонентов системы использованы диаграммы последовательностей. На рис. 3 представлена диаграмма последовательностей для АСУ ТП, а на рис. 4 – диаграмма последовательностей для оператора.

Диаграмма последовательностей для АСУТП показывает, какой промежуток времени занимают такие действия АСУ ТП, как «Сообщение оператору об изменении характеристик», «Сообщение о неисправности», «Формирование управляющих воздействий». Любое значимое событие заносится в системный лог.

Аналогичная диаграмма последовательностей для оператора показывает временные интервалы, которые занимают такие действия оператора как «Авторизация», «Изменение параметров ТП», «Квитирование аварии», формирование команды «Общий стоп» и других управляющих воздействий при его взаимодействии с АСУТП.

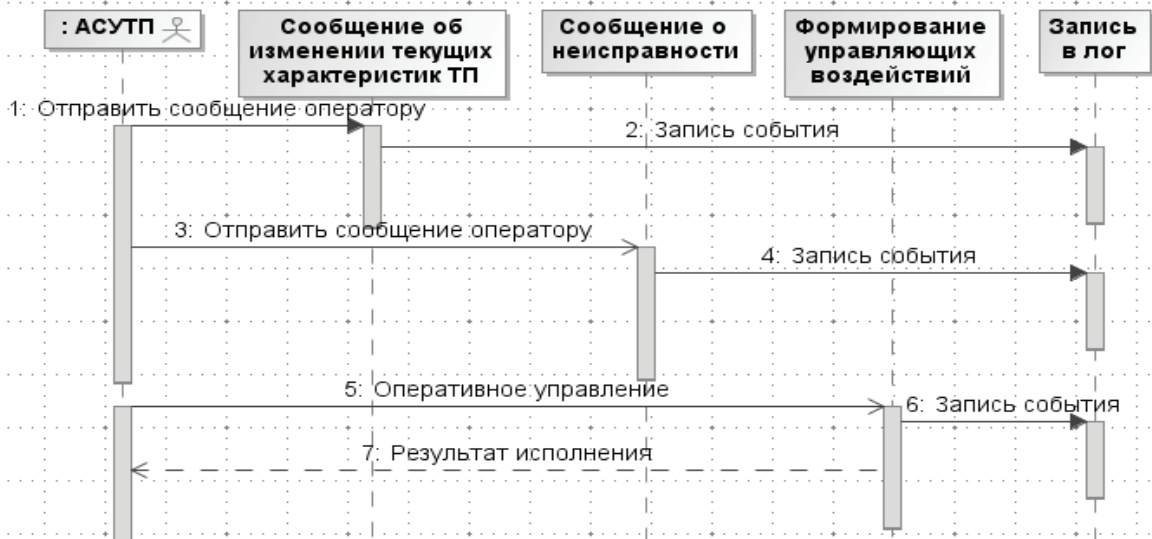


Рис. 3. Диаграмма последовательностей для АСУ ТП

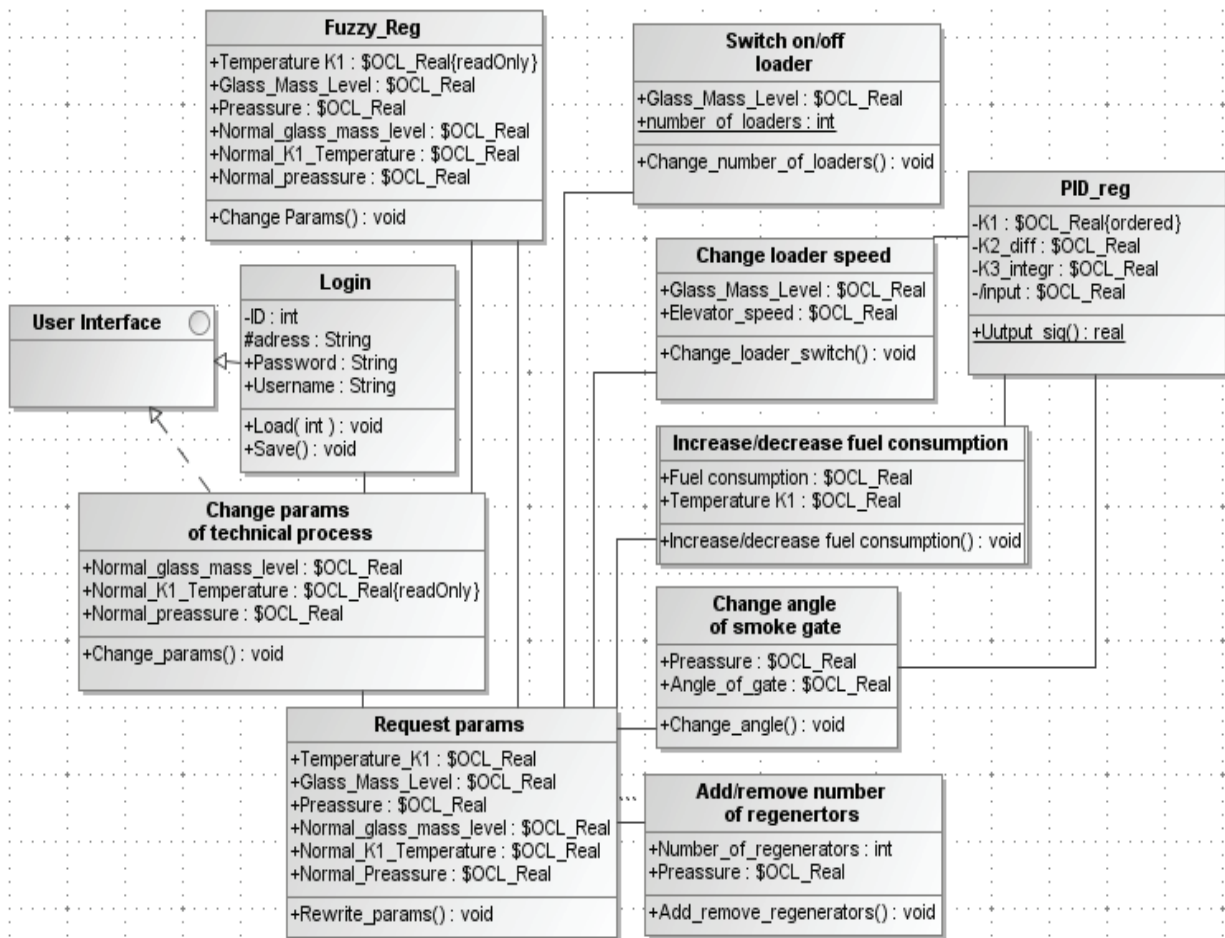


Рис. 5. Диаграмма классов для АСУ ТП

Для логического представления АСУ ТП используется диаграмма классов. На ее основе осуществляется программная реализация АСУ ТП (рис. 5). Эта диаграмма позволяет представить в графической форме классы, используемые в программе, что дает разработчикам наглядное представление отношений между элементами программы и позволяет четко распределить работу между программистами. Средствами разработки UML можно частично генерировать программный код.

Описание классов диаграммы:

1. Login – класс, предназначенный для авторизации пользователя в системе с заданным уровнем доступа.

2. Change params of technical process – класс, позволяющий авторизованному пользователю вручную изменять параметры ТП при разрешенном уровне доступа.

3. Fuzzy\_Reg – класс, позволяющий по результатам нечеткого вывода прогнозировать количество стекла, удовлетворяющего политике предприятия в области качества, и корректировать параметры ТП с целью изменения этого количества [3].

4. Request params – класс, отслеживающий все изменения состояния ТП.

5. Switch on/off loader – класс, выполняющий функцию включения/выключения дополнительного загрузчика при необходимости (неисправность работающего загрузчика, ротация для равномерного износа оборудования).

6. Change loader speed – класс, реализующий функции управления скоростью работы загрузчика, используя возможности класса PID\_reg.

7. Increase/decrease fuel consumption – класс, реализующий функции управления общим расходом газа/воздуха, используя данные класса PID\_reg.

8. Change angle of smoke gate – класс изменяет положение шиберов дымовой трубы, используя данные класса PID\_reg.

9. Add/remove number of regenerators gate – класс выполняет функцию введения/выведения при необходимости в работу дополнительного регенератора.

10. PID\_reg – класс используется для реализации алгоритма ПИД-регулирования при управлении положением шиберов дымовой трубы, общим расходом газа/воздуха, поворотом шиберов дымовой трубы.

Эта диаграмма позволяет представить в графической форме классы, используемые в программе, что дает разработчикам более полное понимание отношений между компонентами программного обеспечения и обеспечивает четкое распределение работы между программистами. Средствами разработки UML можно частично генерировать программный код.

Диаграммы UML охватывают большинство актуальных вопросов при реинжиниринге АСУ ТП. Важными преимуществами при использовании UML диаграмм разработчиками являются быстрота освоения нотаций и простота использования средств языка, наглядность и иерархичность его структуры.

### Заключение

Обосновано применение языка UML для построения АСУ ТП варки стекла. Средства языка положены в основу формализации ТП варки стекла и его реализации с помощью соответствующих программных средств.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Р.И. Управление качеством листового стекла (флоат-способ) / Р.И. Макаров, В.В. Тарбеев, Е.Р. Хорошева. М.: Изд-во АСВ, 2002. 192 с.

2. Трофимов С.А. CASE-технологии: практическая работа в Rational Rose / С.А. Трофимов. М.: Бинوم-Пресс, 2002. 288 с.

3. Куранов С.В. Нечеткое моделирование в проектировании АСУ ТП варки стекла / С.В. Куранов, Д.Ю. Петров, В.А. Иващенко // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-22: сб. тр. XXII Междунар. науч. конф.: в 11 т. Т. 11: Летняя Школа молодых ученых / под общ. ред. д.т.н., проф. В.С. Балакирева. Иваново: Изд-во Иванов. гос. хим.-технол. ун-та, 2009. С. 272-275.

**Иващенко Владимир Андреевич** – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов

**Vladimir A. Ivaschenko** – Dr. Sc., Leading Researcher  
Institute of Precision Mechanics and Control,  
Saratov

**Куранов Сергей Владимирович** – аспирант кафедры «Системотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergei V. Kuranov** – Postgraduate  
Department of Systems Engineering,  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 16.04.12, принята к опубликованию 06.11.12*

С.В. Куранов, В.А. Ивашенко, О.А. Крайнов

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ СТЕКЛОМАССЫ В ВАННОЙ ПЕЧИ

*Предложен подход к повышению точности измерения уровня стекломассы в ванной печи, в основу которого положена система нечеткого вывода. Использование данного подхода при управлении технологическим процессом варки стекла обеспечивает существенное повышение его качественных показателей.*

Технологический процесс, варка стекла, автоматизированное управление, система нечеткого вывода, продукционная база правил

S.V. Kuranov, V.A. Ivaschenko, O.A. Krainov

## USING FUZZY INFERENCE FOR ENHANCING THE ACCURACY OF GLASS LEVEL MEASUREMENT IN A TANK FURNACE

*An approach is offered to improve the accuracy of the molten glass level measurement in a tank furnace, which is based on a system of fuzzy inference. Using this approach for the process control system, allows a significant increase in the quality of its performance.*

Process, cooking glass, automatic control, fuzzy inference system, product rule base

### Введение

При управлении сложным производством возникает проблема получения точной информации с датчиков различной природы. Однако не все существующие датчики соответствуют предъявляемым им требованиям по быстродействию, помехозащищенности и другим показателям, в том числе точности измерений.

Так, качество стекла сильно зависит от постоянства поддержания нужного уровня стекломассы в ванной печи, которое непосредственно зависит от точности показаний датчика уровня стекломассы. В то же время за счет таких факторов, как изменение давления в ванной печи, меняющегося непрерывно за счет влияния внешних условий, данные, снимаемые с датчика уровня стекломассы в ванной печи, имеют значительные колебания или броски [1]. При этом фактический уровень стекломассы не меняется, а регулятор начинает обрабатывать возмущения, что приводит уже к фактическим отклонениям уровня.

### 1. Актуальность повышения точности измерения уровня стекломассы в ванной печи

В ванной печи в основном применяются четыре типа датчиков уровня стекломассы:

1. Устаревший электроконтактный датчик, с помощью которого снимаются показания в дискретные моменты времени. При его использовании возможны ошибки из-за налипания стекломассы на электрод.
2. Распространенный в настоящее время поплавковый датчик снимает показания постоянно. На его показания оказывают влияние характеристики контура давления и вязкость стекломассы (состав шихты). Также возможно налипание стекломассы.
3. Современный радиоактивный датчик. Его недостатки аналогичны недостаткам поплавкового датчика, но влияние изменения давления на его показания выражено в меньшей степени. Состав стекломассы оказывает влияние на показания датчика лишь за счет изменения своих отражающих свойств.
4. Оптический датчик имеет недостатки, присущие радиоактивному датчику.

При неудачном выборе места установки оптического и радиоактивного датчиков возможно возникновение сильных погрешностей измерений за счет температурной деформации ванной печи.

Все виды датчиков рассчитаны на использование чистой стекломассы, что на практике не всегда достижимо (могут иметь место включения различного происхождения) как в варочной, так и в студочной частях ванной печи.

Как видно, ни один из существующих типов датчиков уровня стекломассы не отвечает в полной мере требованиям точности измерения ее уровня. Однако точность измерения уровня стекломассы можно повысить за счет применения нескольких датчиков уровня, объединяя их показания. Применять при этом метод нахождения среднего арифметического представляется нецелесообразным ввиду того, что факторы, искажающие показания, могут оказывать подобное влияние на данные, снимаемые со всех датчиков, участвующих в измерении. При этом применение этих методов существенного повышения точности измерения в таких условиях не даст.

Формально приближенное значение уровня стекломассы можно выразить соотношением

$$h = k_1x_1 + k_2x_2 + \dots + k_nx_n ,$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – показания соответствующего датчика;  $k_1, k_2, \dots, k_n$  – поправочные коэффициенты, характеризующие степень достоверности показания датчика в данный момент;  $k_i \in (0, 1), \sum_{i=1}^n k_i = 1$ .

Таким образом, определение значения уровня стекломассы в ванной печи сводится к нахождению поправочных коэффициентов.

## 2. Подход к повышению точности измерения уровня стекломассы в ванной печи

Для определения поправочного коэффициента предлагается использовать систему нечеткого вывода. Применение системы нечеткого вывода позволяет использовать субъективные знания экспертов, что является эффективным при решении плохо формализуемых задач [2]. Подсистема нечеткого вывода при опросе одного датчика приведена на рис. 1.

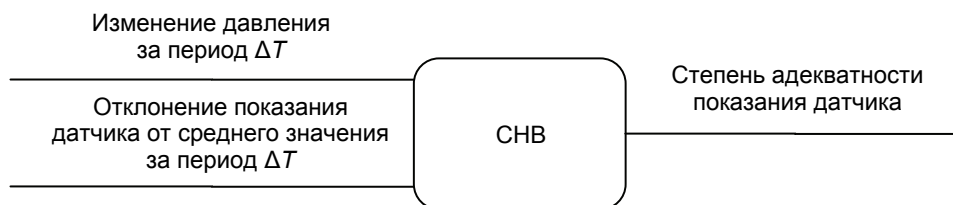


Рис. 1. Система нечеткого вывода

Этапы нечеткого вывода приведены на рис. 2.

Система нечеткого вывода имеет две входные лингвистические переменные: «Отклонение от среднего значения с датчика за период  $\Delta T$ », «Изменение давления за период  $\Delta T$ »; выходную переменную «Степень достоверности значения датчика».

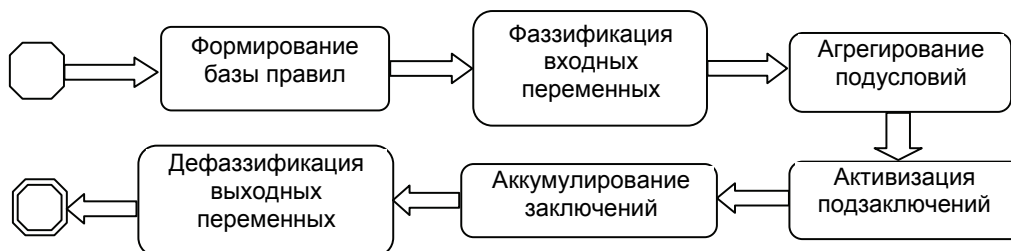


Рис. 2. Этапы нечеткого вывода

В качестве функции принадлежности нечетких переменных принята трапецеидальная функция (рис. 3).

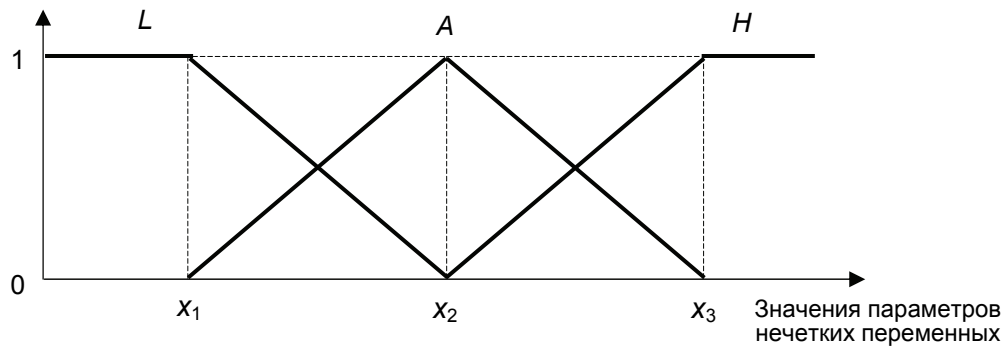


Рис. 3. Функции принадлежности входных переменных

В роли термов лингвистических переменных выступают следующие характеристики: высокая степень соответствия – *H* (англ. *high* – *высоко*), средняя – *A* (англ. *average* – *неизвестно*), низкая – *L* (англ. *low* – *низко*).

Нечеткая база правил содержит набор нечетких продукционных правил:

Правило 1. Если «Отклонение от среднего значения показания датчика за период  $\Delta T$ » *H* и «Изменение давления за период  $\Delta T$ » *H*, то «Степень достоверности значения датчика» *L*.

Правило 2. Если «Отклонение от среднего значения показания датчика за период  $\Delta T$ » *A* и «Изменение давления за период  $\Delta T$ » *H*, то «Степень достоверности значения датчика» *L*.

Правило 3. Если «Отклонение от среднего значения показания датчика за период  $\Delta T$ » *L* и «Изменение давления за период  $\Delta T$ » *H*, то «Степень достоверности значения датчика» *A*.

Правило 4. Если «Отклонение от среднего значения показания датчика за период  $\Delta T$ » *A* и «Изменение давления за период  $\Delta T$ » *H*, то «Степень достоверности значения датчика» *L*.

Правило 5. Если «Отклонение от среднего значения показания датчика за период  $\Delta T$ » *A* и «Изменение давления за период  $\Delta T$ » *A*, то «Степень достоверности значения датчика» *A*.

Правило 6. Если «Отклонение от среднего значения показания датчика за период  $\Delta T$ » *A* и «Изменение давления за период  $\Delta T$ » *L*, то «Степень достоверности значения датчика» *H*.

Правило 7. Если «Отклонение от среднего значения показания датчика за период  $\Delta T$ » *L* и «Изменение давления за период  $\Delta T$ » *H*, то «Степень достоверности значения датчика» *A*.

Правило 8. Если «Отклонение от среднего значения показания датчика за период  $\Delta T$ » *L* и «Изменение давления за период  $\Delta T$ » *A*, то «Степень достоверности значения датчика» *H*.

Правило 9. Если «Отклонение от среднего значения показания датчика за период  $\Delta T$ » *L* и «Изменение давления за период  $\Delta T$ » *L*, то «Степень достоверности значения датчика» *H*.

Фаззификация входных переменных осуществляется в соответствии с представленными на рис. 3 функциями их принадлежности. Численные значения параметров этих переменных для ванной печи ЛТФ-1 ОАО «Саратовстройстекло» приведены в табл. 1.

На этапе агрегирования подусловий вычисляется степень истинности каждого из правил нечеткого вывода. Правила со степенью истинности больше 0 считаются активными и используются в дальнейших вычислениях.

В качестве функции принадлежности выходной нечеткой переменной принята прямоугольная функция.

Таблица 1

Численные значения параметров входных переменных для ванной печи ЛТФ-1 ОАО «Саратовстройстекло»

Входные переменные	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Отклонение от среднего значения с датчика за период $\Delta T$ , %	<0,5	0,5..1	>1
Изменение давления за период $\Delta T$ , %	<1	1..2	>2

Результатом активизации для прямоугольной функции принадлежности будет четкое значение для каждого правила из нечеткой базы правил, и поэтому этап аккумуляции заключений фактически отсутствует.

На этапе дефаззификации определяется четкое значение выходной нечеткой переменной, выражающее оцененную степень достоверности показания датчика с помощью метода центра тяжести для одноточечных множеств.

Для проверки работы алгоритма скорректирована действующая программа управления ванной печью ЛТФ-1 ОАО «Саратовстройстекло». Так как непосредственно оценить повышение точности измерения уровня стекломассы невозможно ввиду отсутствия эталонного уровнемера, то оценка эффективности изменения производилась по косвенным параметрам, таким как общее снижение брака, увеличение количества листового стекла высшего качества, более равномерная работа загрузчиков и визуальное отсутствие отклонения. Визуально обнаружить отличия в работе оборудования не удалось, заметной разницы в работе загрузчиков также не выявлено.

Результаты апробации предложенного подхода к повышению точности измерения уровня стекломассы в ванной печи на ОАО «Саратовстройстекло» показали, что его использование обеспечивает высокую точность измерительной информации. Ввиду нетребовательности к вычислительным ресурсам он применим в самых простых автоматизированных системах управления технологическим процессом варки стекла.

В табл. 2 приведены результаты сравнения разбраковок в течение двух недель до изменения рабочей программы управления ванной печью ЛТФ-1 ОАО «Саратовстройстекло» и двух недель после этого.

Как видно из таблицы, имеет место снижение брака стекла марки М1, характеризуемого малым количеством дефектов (не более одного дефекта минимального размера на лист стекла) в среднем на 4 %.

Таблица 2

Сравнение разбраковок стекла по маркам до и после изменения программы управления ванной печью ЛТФ-1 ОАО «Саратовстройстекло»

Порядковый номер дня	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Среднее значение
До изменения программы управления ТП варки стекла															
Брак в процентах	23	17	19	14	26	30	33	25	16	20	24	28	23	20	22,71
Выход стекла марки М1 в процентах	60	64	67	69	59	57	53	59	69	58	56	57	62	58	60,57
После изменения программы управления ТП варки стекла															
Брак в процентах	19	16	21	25	15	18	24	24	14	12	17	20	22	17	18,85
Выход стекла марки М1 в процентах	61	64	59	59	67	63	55	58	71	73	64	62	58	63	62,64

### Заключение

Предложена система нечеткого вывода, обеспечивающая повышение точности измерения уровня стекломассы в ванной печи за счет снижения влияния на технологический процесс варки стекла помех от внешних, искажающих результаты измерений.

Данная система может быть использована при построении АСУ технологическим процессом варки стекла.

Система апробирована на тестовых данных, полученных с ОАО «Саратовстройстекло».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Р.И. Управление качеством листового стекла (флоат-способ) / Р.И. Макаров, В.В. Тарбеев, Е.Р. Хорошева. М.: Изд-во АСВ, 2002. 192 с.
2. Куранов С.В. Нечеткое моделирование в проектировании АСУ ТП варки стекла / С.В. Куранов, Д.Ю. Петров, В.А. Иващенко // Математические методы в технике и технологиях – 184



ММТТ-22: сб. тр. XXII Междунар. науч. конф.: в 11 т. Т. 11: Летняя Школа молодых ученых / под общ. ред. д.т.н., проф. В.С. Балакирева. Иваново: Изд-во Иванов. гос. хим.-технол. ун-та, 2009. С. 272-275.

**Куранов Сергей Владимирович** – аспирант кафедры «Системотехника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergei V. Kuranov** – Postgraduate Department of Systems Engineering, Gagarin Saratov State Technical University

**Иващенко Владимир Андреевич** – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов

**Vladimir A. Ivaschenko** – Dr. Sc., Leading Researcher Institute of Precision Mechanics and Control, Saratov

**Крайнов Олег Александрович** – ведущий инженер по автоматизации технологических процессов ОАО «Саратовстروйтекло», г. Саратов

**Oleg A. Krainov** – Leading Engineer in Technological Processes Automatization JSC «Saratovstroysteklo», Saratov

*Статья поступила в редакцию 15.07.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 621.923.5

**Б.Н. Салимов**

### **УСТРОЙСТВО ОБРАБОТКИ ДОРОЖКИ КАЧЕНИЯ КОЛЕЦ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ С МНОГОТОЧЕЧНЫМ КОНТАКТОМ**

*Рассматривается новое устройство обработки сложной поверхности дорожки качения колец подшипников в производственных условиях с приведением практических результатов обработки суперфинишированием.*

Шарикоподшипники, суперфиниширование, шероховатость, волнистость поверхности, дорожка качения, устройство обработки

**B.N. Salimov**

### **BALL BEARINGS SEMI RING RACE PROFILE PROCESSING DEVICE WITH MULTIPLE-POINT CONTACT**

*Technological advantages of a new device for processing details of bearings are shown in the article. The examples of practical use of the super finishing automatic devices working according to the offered principle are given.*

Ball bearings, super finishing, roughness, surface sinuosity, semi ring race profile, processing device

В настоящее время при производстве прецизионных шарикоподшипников большое внимание уделяется качественным параметрам точности рабочих поверхностей. Для шарикоподшипников основной рабочей поверхностью является дорожка качения, именно эта поверхность испытывает циклические переменные напряжения, вызывающие контактную усталость рабочей поверхности. Поэтому увеличение долговечности дорожки качения колец шарикоподшипников ведет к увеличению срока службы всего узла, в работе которого участвуют данные шарикоподшипники. При этом должны достигаться высокая производительность и экономичность изготовления шарикоподшипников.

Долговечность дорожки качения шарикоподшипников значительно зависит от таких погрешностей геометрической формы, как шероховатость поверхности, волнистость поверхности и отклоне-

ние от круглости. Образование волнистости всегда сопровождается неравномерностью распределения шероховатости и микротвердости на вершинах и впадинах волн, что составляет дополнительный источник разрушения поверхности при эксплуатации [2].

В технологии производства шарикоподшипников предлагается сравнить такие виды заключительных операций обработки как полирование дорожки качения и суперфиниширование дорожки качения с применением нового устройства абразивной обработки, так как при применяемой технологии полированием имелось большое количество брака деталей из-за погрешностей геометрической формы дорожки качения. По базовой технологии предприятия-изготовителя после заключительной операции поверхность дорожки качения должна иметь шероховатость  $Ra=0,16$  мкм, отклонение от круглости  $\Delta=2$  мкм, волнистость поверхности не более  $Wz=0,2$  мкм. Достижение таких точных параметров поверхности сложного профиля обеспечивается применением нового устройства абразивной обработки, разработанного на кафедре «Технология машиностроения» СГТУ совместно с автором.

Сущность нового устройства обработки поясняется рис. 1, где изображена ее конструкция, позиции имеют следующие обозначения: 1 – кронштейн; 2 – пиноль; 3 – подшипники; 4 – инструментальный шпиндель; 5 – шкив; 6 – стакан; 7 – подшипники; 8 – многобрусковый патрон; 9 – державки; 10 – абразивные бруски; 12 – паз; 13 – упор. Работа устройства осуществляется следующим образом. Изделие 11 устанавливается на шпинделе изделия (не показан) и получает от него вращение вокруг своей оси, расположенной в вертикальной плоскости.

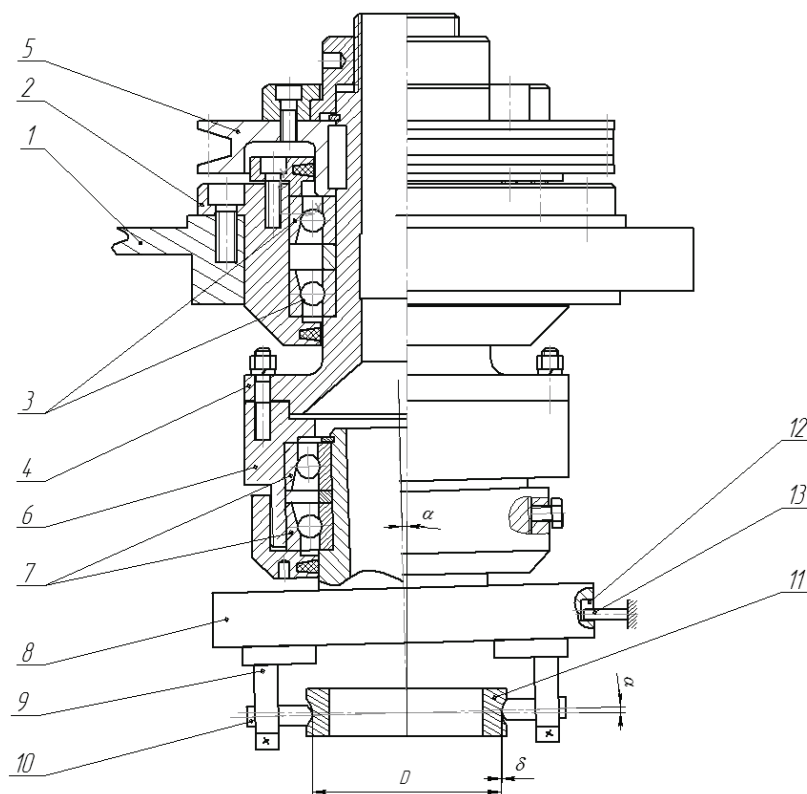


Рис. 1. Устройство абразивной обработки

Кронштейн 1 перемещается в вертикальной плоскости и подводит инструментальную головку и многобрусковый патрон 8 с державками 9 и абразивными брусками 10 к изделию 11 до тех пор, пока точка пересечения осей многобрускового патрона 8 и инструментального шпинделя 4 не совместится с точкой симметрии обрабатываемой поверхности изделия 11. После этого от механизма вращения (не показан) через шкив 5 включается вращение шпинделя 4 в подшипниках 3 пиноли 2, а державки 9 с абразивными брусками 10 подвоятся к обрабатываемой поверхности изделия 11. Так как многобрусковый патрон 8 удерживается от вращения вокруг оси инструментального шпинделя 4 упором 13, установленным в пазу 12, при вращении инструментального шпинделя 4 и стакана 6 с подшипниками 7 ось многобрускового патрона 8 описывает с частотой вращения инструментального шпинделя 4 коническую поверхность с вершиной, расположенной в центре симметрии обрабатываемой поверхности изделия 11 и с углом при вершине, равным  $2\alpha$ . При этом абразивные бруски 10 получают осциллирующее движение, а именно движение прецессии, с частотой, равной частоте враще-

ния инструментального шпинделя 4. После окончания обработки державки 9 и абразивные бруски 10 отводятся от обрабатываемой поверхности, кронштейн 1 поднимается вверх и отводит из зоны обработки инструментальную головку, вращение инструментального шпинделя 4 прекращается. Вращение изделия 11 также прекращается и происходит смена изделия. После этого цикл обработки повторяется.

Как видно, конструкция устройства проста и надежна, что обеспечивает его высокие эксплуатационные свойства.

Данное устройство обладает высокой универсальностью, так как позволяет без замены деталей осуществлять обработку различных поверхностей: тороидальных, цилиндрических, конических, сферических, что обеспечивает ему высокие эксплуатационные свойства. Таким образом, обеспечивается точная и жесткая работа инструментальной головки, что снижает вибрации и повышает качество обработки дорожки качения шарикоподшипников. Достигается высокая частота осцилляции брусков, что повышает производительность обработки. Упрощается конструкция устройства и снижаются затраты на его изготовление.

Обработка опытных образцов шарикоподшипников проводилась под руководством профессора, д.т.н. Королёва А.В. в «Научно-производственном предприятии нестандартных изделий машиностроения» на автоматах МСА-2001. В процессе работы автомат МСА-2001 менее чем за 30 секунд выполнял врезное суперфиниширование, совместное суперфиниширование и выхаживание дорожки качения колец шарикоподшипников.

После обработки полученных экспериментальных данных получены следующие степенные уравнения для шероховатости, волнистости и отклонения от круглости поверхности соответственно:

$$R_a = -1,583 \cdot Z^{0,141} \cdot P^{0,056} \cdot T^{-0,121} \cdot nb^{-0,058}, \quad (1)$$

$$W_z = -1,467 \cdot Z^{0,15} \cdot P^{0,216} \cdot T^{-0,306} \cdot nb^{-0,087}, \quad (2)$$

$$\Delta = 0,908 \cdot Z^{-0,107} \cdot P^{0,227} \cdot T^{-0,254} \cdot nb^{-0,048}. \quad (3)$$

В результате исследования процесса суперфиниширования на основе планирования многофакторного эксперимента получили шероховатость поверхности дорожки качения  $R_a$ , в зависимости от зернистости брусков, давления брусков на обрабатываемую поверхность, времени обработки и частоты колебаний инструментальной головки. С увеличением времени обработки значение шероховатости снижается за счет интенсивного микрорезания абразивными зёрнами (рис. 2). После 12 секунд процесс резания переходит в режим трения из-за засаливания брусков и шероховатость поверхности уменьшается менее интенсивно.

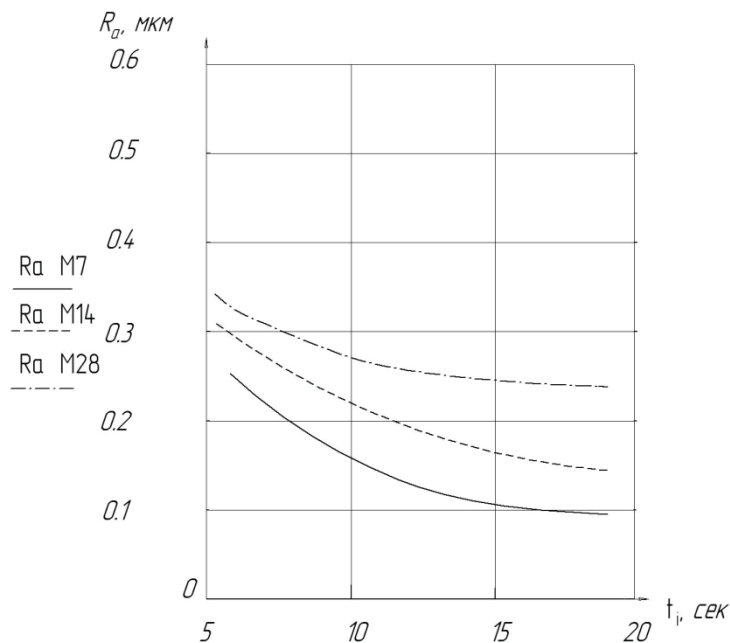


Рис. 2. Зависимость шероховатости от времени обработки при различной зернистости инструмента (M7, M14, M28)

По сравнению с существующей технологией полирования при суперфинишировании по полученным результатам наблюдалось снижение шероховатости и достижение более точных результа-

тов по геометрии дорожки качения. Полученные результаты дают возможность оценить улучшение шероховатости после заключительной операции суперфиниша до значения  $Ra=0.12$  мкм. Важно достижение таких геометрических характеристик сложной поверхности, как отклонение от круглости  $\Delta=1,5$  мкм, показатель волнистости  $Wz=0.15-0.2$  мкм, превосходящие значения существующей технологии полирования за счет применения нового устройства обработки.

Как видно, технология обработки сложного профиля дорожки качения колец рассматриваемых шарикоподшипников с многоточечным контактом требует особого контроля. Необходимо дальнейшее совершенствование суперфинишных операций в направлении повышения их технологических возможностей с применением современного оборудования и исследования механизма формообразования обрабатываемых поверхностей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. РФ № 2137582. Способ чистовой обработки / А.В. Королев, О.Ю. Давиденко.
2. Новые прогрессивные технологии машиностроительного производства. Теоретические основы многобрускового формообразующего суперфиниширования / А.В. Королёв, А.М. Чистяков, О.Ю. Давиденко, А.А. Королёв. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1997. Ч. 2. 128 с.
3. Королёв А.В. Новые прогрессивные технологии машиностроительного производства. Технология многобрускового формообразующего суперфиниширования с локализацией контакта инструмента и обрабатываемой поверхности / А.В. Королёв, А.М. Чистяков, О.Ю. Давиденко. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1997. Ч. 3. 152 с.

**Салимов Бакытжан Нуржанович** –  
аспирант кафедры «Технология машиностроения»  
Саратовского государственного технического  
университета имени Гагарина Ю.А.

**Bakitzhan N. Salimov** –  
Postgraduate  
Department of Mechanical Engineering Technologies  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 535.42-43: 53.086

Е.А. Блюштейн, А.О. Мантуров

### ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРОЕКЦИЙ В ЗАДАЧЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕНЕВОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ ТОМОГРАММЫ

*Рассмотрена задача реконструкции двумерного изображения объекта методом теневой дифракционной томографии. Показано влияние дифракционного размытия на разрешение реконструируемого изображения. Предложен модифицированный алгоритм реконструкции теневых томографических изображений, позволяющий существенно снизить влияние дифракции на восстановление изображения.*

Томография, дифракция, преобразование Радона, регуляризация Тихонова

Е.А. Blushtein, A.O. Manturov

### PROJECTION PRE-FILTERING APPROACH TO PROBLEM OF SHADOW DIFFRACTION TOMOGRAM RECONSTRUCTION

*The problem of reconstruction of two-dimensional image of the object by the shadow diffraction tomography is discussed. The effect of the diffraction blur on resolution of the reconstructed image is shown. The modified algorithm of reconstruction of shadow tomography images, which allows reducing the influence of diffraction on image reconstruction, is proposed.*

Tomography, diffraction, Radon transform, Tikhonov regularization

#### Введение

Рассмотрим задачу реконструкции теневой томограммы с учетом действия дифракции. Получение теневой томограммы (рис. 1) по принципу технической реализации близко к известным методам томографии [1], однако в отличие от последних позволяет получать двумерное (2D) проекционное изображение внутренней структуры объекта с теоретически произвольно высоким разрешением.

При использовании в качестве объекта тонкого среза, прозрачного или полупрозрачного для заданного диапазона электромагнитного излучения, в результате дифракции зондирующего излучения на внутренней структуре среза изменяется интегральная интенсивность потока излучения, действующего на детектор. Построение проекций (сканирование объекта) в теневой томографии выполняется при помощи теневого элемента (например, непрозрачной нити, перемещающейся в направлении получения данной проекции). Как видно из рис. 1, теневой элемент расположен между источником зондирующего излучения и поверхностью объекта, причем расстояние  $d_1 \gg d_2$ . Теневой элемент изменяет интегральную интенсивность потока излучения, действующего на детектор.

Процесс получения 2D-изображения объекта можно условно разделить на два этапа: сканирование объекта и восстановление изображения. Сканирование объекта выполняется дифракционной тенью от сканирующего элемента, при перемещении последнего вдоль направления сканирования (вдоль данной проекции по координате  $r$ ), с последующим изменением азимутального угла сканирования  $\varphi$ . Таким образом, получается исходный набор теневых проекций  $R(r, \varphi)$  (рис. 2).

### Получение теневых проекций

Получение теневых проекций объекта выполняется с помощью специализированного аппаратного обеспечения, включающего точечный источник зондирующего излучения *S*, сканирующий элемент (нить) *W*, тонкий срез объекта *L* и детектор потока излучения *D* (рис. 1).

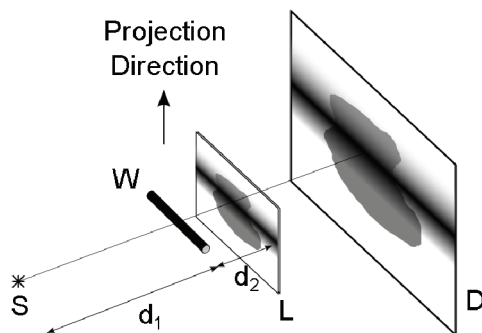


Рис. 1. Получение теневой томограммы

Показаны источник зондирующего излучения *S* и сканирующая нить *W*. В качестве объекта использован тонкий срез *L*. Детектор *D* регистрирует полный поток излучения за объектом.

Математическая формализация этапа сканирования объекта состоит в получении множества одномерных проекций исследуемого объекта в виде (1):

$$R(r, \varphi) = \frac{\Phi_0}{S} \int_{\Omega} k^{r\varphi}(x, y) f(x, y) dx dy, \quad (1)$$

где  $f(x, y)$  – распределение оптической плотности исследуемого объекта,  $\Omega$  – область сканирования,  $\Phi_0$  – световой поток, проходящий через область  $\Omega$ , без учета поглощения излучения сканирующим элементом и исследуемым объектом,  $k^{r\varphi}(x, y)$  – коэффициент описывающий распределение интенсивности дифракционного излучения сканирующего элемента. В качестве сканирующего элемента используется круглая непрозрачная нить диаметром  $d \ll (d_1, d_2)$ . Схематично процесс сканирования изображен на рис. 2.

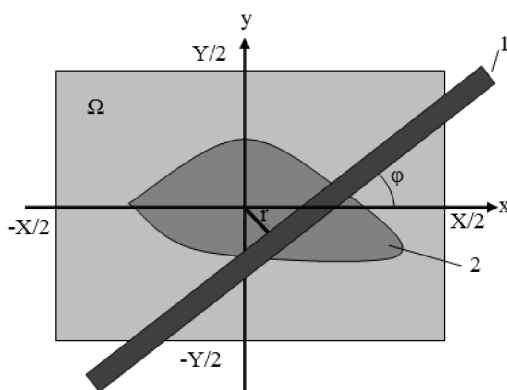


Рис. 2. Схема получения теневых проекций:

1 – сканирующая непрозрачная нить, 2 – плоский срез наблюдаемого объекта

В ходе получения данных проекции нить движется в плоскости рисунка.

В результате сканирования объекта получается множество проекций изображения объекта в виде (2):

$$\{R(r_i, \varphi_j)\}, r_i = i\Delta r = i \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{N}, \varphi_j = j\Delta\varphi = j \frac{\pi}{M}, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M, \quad (2)$$

где  $\Delta r \ll d$ .

Преобразование Радона для функции  $f(x, y)$  может быть представлено как [1,2]:

$$\tilde{R}(r, \varphi) = \int_{\Omega_{R(r, \varphi)}} f(x, y) dx dy, \quad (3)$$

где область  $\Omega_{R(r,\varphi)}$  представляет собой узкую полосу, составляющую с осью X угол  $\varphi$ , отстоящую от начала координат на  $r$  и имеющую ширину  $\Delta r$ . Нетрудно заметить, что формулы (1) и (3) похожи между собой, а при задании функции  $k^{r\varphi}(x,y)$  в виде (4), они становятся тождественными с точностью до констант:

$$k^{r\varphi}(x,y) = \begin{cases} 1, & (x,y) \in \Omega_{R(r,\varphi)} \\ 0, & (x,y) \notin \Omega_{R(r,\varphi)} \end{cases} \quad (4)$$

### Реконструкция изображения теневой дифракционной томограммы

Второй этап построения теневого томографического изображения заключается в восстановлении функции  $f(x,y)$  по известному набору проекций (2). Для решения этой задачи в вычислительной томографии обычно используются алгебраические итерационные методы [2]. Однако они имеют высокую вычислительную сложность и требуют для реализации больших объемов памяти, что делает их практически непригодными для изображений с высоким разрешением (например, построение изображения с разрешением  $10^4 \times 10^4$  пикселей потребует использования порядка 1 Гб оперативной памяти). В то же время методы обращения преобразования Радона, экономно использующие память и процессорное время, хорошо известны [1-4]. Поэтому наиболее целесообразно осуществить переход от проекций в виде (1) к проекциям в виде (3). Между функциями (1) и (3) можно установить зависимость в виде (5):

$$R(r_i, \varphi_j) = \frac{\Phi_0}{S} \sum_{p=-\frac{P}{2}}^{\frac{P}{2}} \int_{\Omega_{R_{ip}}} k^{r_i\varphi_j}(x,y) f(x,y) dx dy = \frac{\Phi_0}{S} \sum_{p=-\frac{P}{2}}^{\frac{P}{2}} k(p\Delta r) \widehat{R}(r_i, \varphi_j). \quad (5)$$

В выражении (5) учитывается, что ввиду симметрии сканирующей нити функцию  $k^{r\varphi}(x,y)$  можно переписать в виде  $k(l)$ , где  $l$  – расстояние от осевой линии нити. Функция  $k(l)$  может быть рассчитана аналитически [5].

Записав уравнение (5) для каждого  $i=1,2,\dots,N$ , для каждого  $\varphi_j$  получаем записанное в дискретной форме уравнение Фредгольма первого рода, которое эффективно решается методом регуляризации Тихонова [6].

Результаты численных экспериментов по применению данного алгоритма на тестовом изображении представлены на рис. 3. Множество проекций вида (2) получено численным способом. Для обращения преобразования Радона был использован метод фильтрации и обратного проецирования [1]. Как видно из рисунка, предложенный алгоритм позволяет восстанавливать изображение достаточно близкое к оригиналу (рис. 3в), в то время как непосредственное применение методов обращения преобразования Радона к проекциям вида (2) в результате дает сильно размытое изображение, что не позволяет добиться желаемого разрешения (рис. 3б).

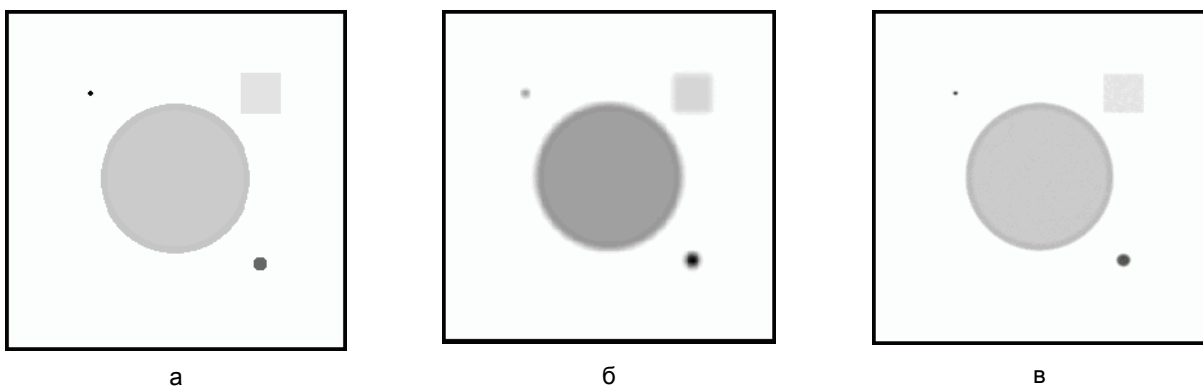


Рис. 3. Результаты численного эксперимента по реконструкции теневой томограммы: а – тестовое изображение, б – изображение, восстановленное без учета дифракции, в – изображение, восстановленное с учетом дифракции

### ЛИТЕРАТУРА

1. Как А. Principles of computerized tomographic imaging / А. Как, М. Slaney. Society for Industrial Mathematics, 2001. 342 p.
2. Губарени Н.М. Вычислительные методы и алгоритмы малоракурсной компьютерной томографии / Н.М. Губарени. Киев: Наук. думка, 1997. 328 с.

3. Наттерер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии / Ф. Наттерер. М.: Мир, 1990. 280 с.
4. Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям / Г. Хермен. М.: Мир, 1983. 352 с.
5. Кугушев А.М. Основы радиоэлектроники / А.М. Кугушев, Н.С. Голубева. М.: Энергия, 1969. 880 с.
6. Тихонов А.Н.Я. Методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. М.: Наука, 1986.

**Блюштейн Евгений Александрович** – аспирант кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Eugeny A. Blushtein** – Postgraduate  
Department of Information Security of Automated Systems  
Gagarin Saratov State Technical University

**Мантуров Алексей Олегович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Alexey O. Manturov** – Ph. D., Associate Professor  
Department of Information Security of Automated Systems  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 12.08.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 621.391, 621.396

**Е.Е. Глуховская, А.О. Мантуров**

### **СИСТЕМА ЗАЩИЩЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕАВТОНОМНОГО КОНТУРА «RL-МДП-ДИОД» С ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ НЕЛИНЕЙНЫМ ПОДМЕШИВАНИЕМ**

*Рассмотрены особенности построения системы защищенной передачи информации на принципе нелинейного подмешивания и инверсного преобразования «ток-напряжение-ток». Рассматривается возможность модификации известной системы на основе контура «RL-диод с рп-переходом» за счет введения схемотехнического эквивалента центров захвата неосновных носителей. Предложены принципы построения альтернативной системы, где в качестве нелинейного элемента используется диод структуры «металл-диэлектрик-полупроводник».*

Защита информации, динамический хаос, инверсная система

**E.E. Glukhovskaya, A.O. Manturov**

### **SECURE INFORMATION TRANSMISSION SYSTEM BASED ON NONAUTONOMOUS RL-MOS DIODE CIRCUIT WITH PARAMETRICAL NONLINEAR MIXING**

*The features of the secure information transmission system based on the principle of non-linear mixing and inverse «current-voltage-to-current» transform is discussed. The principle of the alternative system design, where the non-linear element is Metal-Insulator-Semiconductor Diode, is proposed. The possibility of modification of the well-known system based on the circuit «RL-pn-Junction Diode» through the introduction of circuit equivalent of minority carrier traps considered also.*

Secure Information Transmission, Dynamical Chaos, Inverse System

#### **Введение**

Использование принципа инверсного преобразования сигнала при его передаче с помощью хаотических последовательностей известно достаточно давно [1]. В частности, в [2] рассмотрено по-



строение инверсной неавтономной системы для передачи информации хаотическим сигналом, порождаемым неавтономной последовательной цепью «сопротивление – индуктивность – полупроводниковый диод с рп-переходом» (RL-диод контур). В предложенной системе имеются «передатчик» и «приемник», содержащие идентичные по параметрам RL-диод контуры, а к «передатчику» подводится сигнал внешнего воздействия вида  $E \sin \omega t$  и информационный сигнал  $S(t)$ . Под воздействием сигнала внешнего воздействия в «передатчике» возбуждаются хаотические колебания, в которых присутствует и передаваемый информационный сигнал  $S(t)$ . Таким образом, обеспечивается защищенность передачи информации между «передатчиком» и «приемником» путем маскировки передаваемого сообщения несущим хаотическим сигналом в канале связи

Результаты моделирования вышеописанной системы передачи информации с помощью средств LT SPICE показали [3], что вне зависимости от метода введения информационного сигнала  $S(t)$  в формируемый хаотический сигнал, степень маскировки передаваемого сообщения оказывается невысокой. В частности, наличие информационного сигнала, введенного в несущий хаотический сигнал, возможно обнаружить путем анализа реализации сигнала в канале связи. Из рассмотрения результатов численного моделирования можно видеть, что указанная демаскировка наблюдается как в реализации  $U(t)$ , так и в спектре мощности, рассчитанном для сигнала  $U(t)$ . Попытки снизить степень демаскировки путем уменьшения действующей амплитуды сигнала  $S(t)$  не приводят к существенному повышению скрытности передаваемого сообщения, и, с другой стороны, ограничены ухудшением отношения «сигнал/шум» на выходе «приемника». В связи с изложенным целью данной работы явилось создание простейшей системы защищенной передачи информации на принципах инверсного преобразования, на основе применения цепей вида «RL-полупроводниковый диод», с повышенной степенью маскировки передаваемого сообщения. Очевидно, что поставленная задача может быть решена путем существенного усложнения структуры схемы, формирующей хаотический сигнал (например, за счет перехода к сигналам с высокой размерностью фазового пространства, или за счет применения автономных схем, генерирующих хаотические колебания [1]). Другой подход состоит в использовании нелинейного элемента – диода, с достаточно сложной эквивалентной схемой (или, иначе говоря, с более сложной динамикой неосновных носителей, «ответственных» за возбуждение хаотических режимов в нелинейном неавтономном контуре «RL-диод»). В настоящей работе рассматривается именно такой подход, для чего в качестве нелинейного элемента-диода в состав неавтономного контура «RL-диод» введен диод структуры «Металл-Диэлектрик-Полупроводник» (МДП) [4].

### Система защищенной передачи информации с неавтономным контуром «RL- МДП диод»

Построим модель системы передачи информации на принципе инверсного преобразования «ток – напряжение – ток», в которой в качестве нелинейного элемента будет выступать МДП-диод. Модель МДП-диода представим в виде эквивалентной схемы [4], содержащей источник тока, управляемый напряжением  $i(U)$ , нелинейную емкость  $C(U)$  и инерционную цепь из последовательно соединенных сопротивления  $R_s$  и емкости  $C_s$ . Инерционная цепь  $R_s C_s$  позволяет имитировать действие центров захвата заряда неосновных носителей (поверхностных состояний в МДП-диоде) [4]. Моделирование системы передачи информации будем выполнять с привлечением средств симулятора LT SPICE (рис. 1).

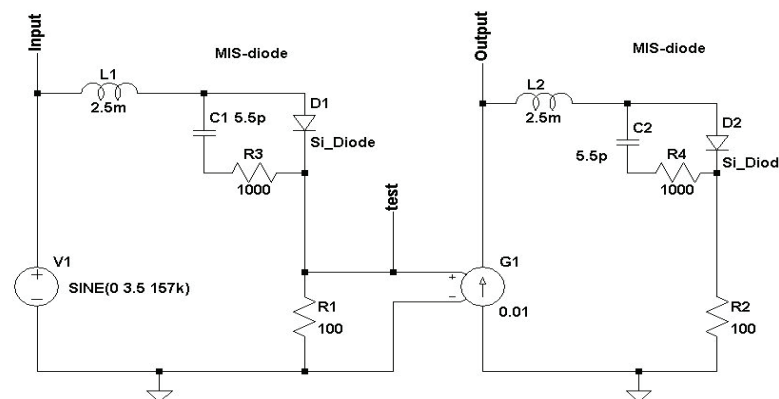


Рис. 1. Система передачи информации на основе неавтономного контура «RL- МДП-диод»

При незначительной расстройке параметра  $\tau_s = R_s C_s$  (постоянная времени поверхностных состояний) в «приемнике» наблюдается появление сигнала ошибки восстановления сигнала внешнего воздействия  $E \sin \omega t$ , что хорошо заметно на реализации  $V(\text{Output})$  (рис.2 а,б).

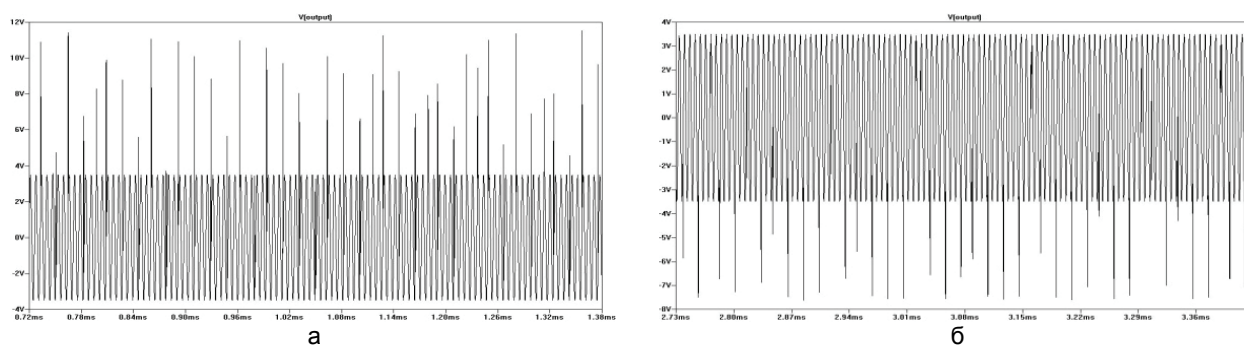


Рис. 2. Появление ошибки восстановления сигнала внешнего воздействия при расстройке постоянной времени инерционной цепи схемы «передатчика»  $T_{sTX}$  относительно постоянной времени цепи «приемника»  $T_{sRX}$ : а –  $T_{sTX} < T_{sRX}$   $C_{sRX}=5\text{пФ}$ , б –  $T_{sTX} > T_{sRX}$   $C_{sRX}=6\text{пФ}$

Ошибка восстановления возникает в «приемнике» на участках реализации напряжения в канале связи  $V(\text{test})$ , соответствующих быстрому изменению тока в цепи RL-диод контура «передатчика». В свою очередь, указанные быстрые изменения связаны с процессами аккумуляции-релаксации заряда неосновных носителей в области пространственного заряда МДП-диода, а также на поверхностных состояниях [4]. Интересно отметить, что при расстройке параметра  $\tau_s$  в схеме «передатчика» в сторону увеличения или уменьшения относительно данного значения  $\tau_s$  в схеме «приемника», полярность сигнала ошибки на выходе «приемника» изменяется. Указанное явление, очевидно, возможно использовать для «модуляции» хаотического сигнала в канале связи передаваемым информационным сигналом. Схема, реализующая такой принцип «модуляции» с использованием схемотехнического аналога МДП-диода, приведена на рис. 3.

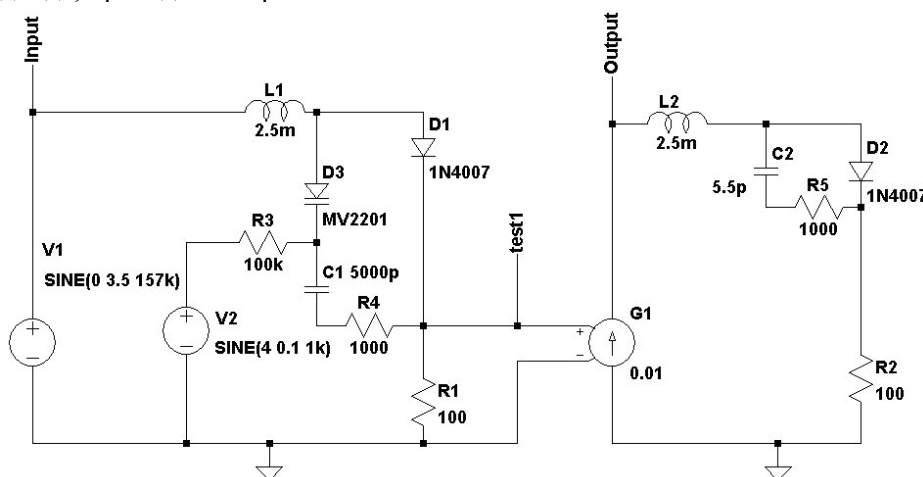


Рис. 3. Схема системы защищенной передачи информации со схемотехническим эквивалентом МДП-диода на основе силового диода типа 1N4007 и инерционной цепи, включающей варикап и сопротивление. V2 – источник информационного сигнала

### Принцип параметрического нелинейного подмешивания

Физически модуляция (расстройка) параметра  $\tau_s$  в МДП-диоде может быть осуществлена за счет изменения изгиба зон на границе «диэлектрик-полупроводник» [4]. При этом по мере достижения границей зоны проводимости энергетических уровней поверхностных состояний последние будут включаться в процессы обмена неравновесными носителями с областью пространственного заряда, и, таким образом, изменять суммарную емкость МДП-диода. Благодаря квазинепрерывному распределению энергетического спектра поверхностных состояний их полная емкость будет меняться непрерывно согласно изменению приложенного к МДП-диоду напряжения. Отметим, что принципиальная разница между предлагаемым подходом и ранее известным принципом нелинейного подмешивания состоит в том, что информационный сигнал не формирует прямого тока через диод в контуре «RL-диод» и, следовательно, не порождает неосновных носителей, аккумуляция и релаксация которых приводит к хаотизации колебаний тока в контуре. Хаотические колебания возбуждаются только за счет действия сигнала внешнего воздействия  $E \sin \omega t$ , но их характеристики зависят от параметра, влияющего на накопление неосновных носителей. В свою очередь, именно указанный параметр подвергается модуляции информационным сигналом. В схеме, приведенной на рис. 3, для имитации квазинепрерывного изменения емкости поверхностных состояний используется варикап D3. Путем задания начального постоянного смещения на варикапе в отсутствие информационного сигнала производится настройка схемы «передатчика» под значение параметра  $\tau_s$  «приемника», при этом сигнал ошибки на выходе «приемника» становится двуполярным.

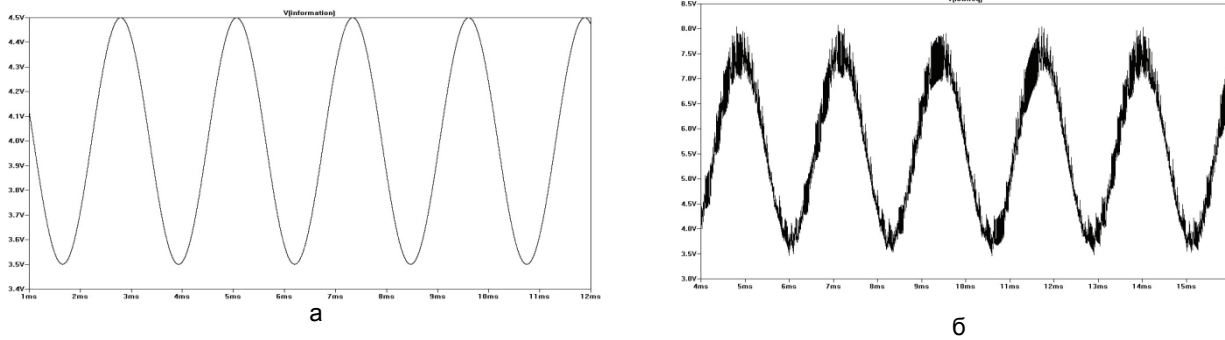


Рис. 4. Восстановление информационного сигнала: а – информационный сигнал на входе «передатчика», б – восстановленный информационный сигнал на выходе детектора огибающей

При введении информационного сигнала (гармонический сигнал частотой 1 кГц, рис. 4а) возникает модуляция постоянной времени  $\tau_s$  схемы «передатчика», а на выходе приемника появляется сигнал ошибки, огибающая которого полностью повторяет передаваемый информационный сигнал. Таким образом, в схеме «передатчика» реализуется, по сути, параметрическая модуляция хаотического сигнала, а сам используемый принцип введения информации в хаотический сигнал оказывается основанным на модуляции параметра пассивной схемы (контура «RL-диод»), демонстрирующей хаотическое поведение. При анализе реализации и спектра мощности сигнала в канале связи не обнаруживается присутствие введенного информационного сигнала. Указанная маскировка сохраняется даже для достаточно больших амплитуд информационного сигнала (в эксперименте величина амплитуды информационного сигнала была выбрана 1В). Для восстановления информационного сигнала на выходе «приемника» может быть использована схема детектора огибающей, на выходе которого присутствует полностью восстановленный информационный сигнал (рис. 4б).

### Заключение

В работе рассмотрен альтернативный подход к построению системы защищенной передачи информации на принципах инверсного преобразования, использующей простую неавтономную схему «индуктивность – сопротивление – полупроводниковый диод» в качестве модулируемого источника хаотического сигнала. Благодаря особенностям используемого диода структуры «Металл-Диэлектрик-Полупроводник», в схеме «передатчика» реализуется управление хаотическими колебаниями без существенного (или же заметного) изменения реализации или спектра мощности хаотического сигнала в канале связи, что позволяет увеличить скрытность самого факта передачи информации в открытом канале связи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев А.С. Динамический хаос как парадигма современных систем связи / А.С. Дмитриев, А.И. Панас, С.О. Старков // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1997. № 10. С. 4-26.
2. Bohme F. The Chaotizer-Dechaotizer Channel F. Bohme, W. Schwarz // IEEE transactions on circuits and systems. 1. Fundamental theory and applications. 43(7), 1996. P. 596-599
3. Мантуров А.О. Моделирование простой схемы передачи информации на основе нелинейного неавтономного осциллятора / А.О. Мантуров, Е.Е. Глуховская, Ю.А. Тимошенко // Вестник СГТУ. 2009. №4 (43). Вып. 2. С. 128-130.
4. Зи С. Физика полупроводниковых приборов / С. Зи. М.: Мир, 1984.

**Глуховская Елена Евгеньевна** – аспирант кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Elena E. Glukhovskaya** – Postgraduate Department of Information Security of Automated Systems Gagarin Saratov State Technical University

**Мантуров Алексей Олегович** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информационная безопасность автоматизированных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Alexey O. Manturov** – Ph. D., Associate Professor Department of Information Security of Automated Systems Gagarin Saratov State Technical University

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 72(09)(47+57)

Е.Н. Еремина

### ТРАНСФОРМАЦИЯ КЛАССИЧЕСКОГО ОРДЕРА В АРХИТЕКТУРЕ СОВЕТСКОГО АВАНГАРДА 1918-1931 гг.

*Рассматриваются трансформация и развитие ордерной системы в период авангарда в советской архитектуре. В рамках рассматриваемого периода 1918-1931 гг. выделяются этапы изменения отношения архитектурной общественности к ордеру. Делается попытка классификации и описания методов трансформации ордерной системы, характерных для рассматриваемого периода 1918-1931 гг. Дается оценка значения авангардного периода советской архитектуры для развития ордерной системы.*

Архитектурный ордер, неоклассицизм, «красная дорика», «пролетарская классика», советский авангард, архитектура

E.N. Eremina

### TRANSFORMATION OF THE CLASSICAL ORDER IN THE ARCHITECTURE OF THE SOVIET 1918-1931 AVANT-GARDE PERIOD

*The article discusses transformation and development of the order system within the period of the Soviet avant-garde architecture, and the distinguished stages of change in the attitude of the architectural public to the order in the period from 1918 to 1931. An attempt is made to classify and describe the methods of order system transformation, typical for the 1918-1931 period. The significance of the Soviet avant-garde architecture period for the development of the order system is estimated.*

Architectural order, neoclassicism, «red dorik», «proletarian classic», the Soviet avant-garde, architecture

Архитектурный ордер – это тип архитектурной композиции, основанный на эстетическом осмыслении стойчно-балочной системы, тектонически состоящей из вертикальных несущих (колонны) и горизонтальных несомых (антаблемент) элементов. На протяжении полутора тысяч лет от античности через Византию, ренессанс, барокко, классицизм и ампир ордерная система была стержнем развития архитектуры. Каждый из перечисленных стилей – это результат переосмысления ордера на основе противоречий, в которые вступает ранее сложившаяся композиция с изменившимся мировоззрением, структурой ценностей, структурой общества. Так, в период классической Греции ордер «...это продолжение хтонических сил ландшафта, демонстрация их борьбы и итоговой гармонизации» [1], выражение гармонии человека и природы. Возрождение – это антропоморфный ордер. Классицизм – метафора государственности. Ампир связан с имперскими амбициями власти.

Однако в начале XX в. в ответ на достижения технической и промышленной революции и связанные с ними изменения структуры общества в архитектуре сформировался качественно новый стиль – функционализм. В соответствии со своим названием он провозглашал функцию основным средством гармонизации архитектурных композиции, которые выстраивались на основе «...обобщенных абстрактных геометрических форм» [2]. Наиболее радикальным течением в рамках функционализма можно считать советский авангард. До недавнего времени функционализм в общем и советский авангард в особенности воспринимались как стили однозначно антагонистические по

отношению к классическому ордеру. Лишь в конце 1990-х гг. с возрождением интереса к ордерной архитектуре, начала осмысляться роль советского авангарда в развитии ордерных форм.

Итак, архитектура русского авангарда начала формироваться после Февральской и, в большей степени, Октябрьской революции в ответ на коренные преобразования в структуре государства и общества. «Именно наличие реально новых условий, запросов и проблем отличало условия работы советских зодчих от достаточно прагматичной постановки социальных проблем в архитектуре Запада. Сочетание новаторского языка архитектурных форм и решение новых социальных задач способствовало формированию в СССР подлинно революционного искусства...» [2]. Первое послереволюционное пятилетие было периодом теоретического развития архитектуры, так как экономические условия для осуществления проектов были минимальны. В этот период новый стиль воплощается в редких зданиях вроде выставочного павильона «Махорка» К. Мельникова. Зато в многочисленных «бумажных» проектах новая архитектура формирует собственные принципы создания формы.

Архитектура авангарда стремилась создать достойную пространственную среду для нового коммунистического общества, основными и наиболее общими принципами которого являются:

– *всеобщее равенство и всеобщая свобода* – в противовес иерархичности и соподчиненности монархических моделей;

– *тотальное обобществление* – в противовес капиталистическому культу частной собственности.

В ответ на заявленную всеобщую свободу и равенство архитектура стремится обслуживать потребности всех без исключения членов общества, а не только его привилегированные слои. Это ее стремление отражается в следующих принципах:

– *рациональная организация производственно-бытовых процессов;*

– *экономия труда и материала при создании целесообразного сооружения.*

Кроме того, ставится задача общедоступности архитектурного языка:

– *экономия психической энергии при восприятии сооружения;*

– *органичное эстетическое выражение функции и конструкции сооружения.*

Тотальное обобществление нашло выражение в новых типах сооружений, таких как клубы, дома-коммуны, кварталы-комбинаты.

В таких условиях естественным кажется абсолютное отрицание классики вообще и ордера, в частности. Ордерная архитектура – архитектура храмов и дворцов, соподчиненности и иерархичности. Она ориентирована на потребности элиты и далека от экономии. Она говорит на языке метафор, понятном лишь немногим. Однако ордер отрицается лишь в теории архитектуры, на практике же до середины 20-х годов продолжают строиться неоклассические по стилю здания, «...как будто «перетекшая» из дореволюционного времени в новую эпоху» [3]. Ни вытеснения, ни преобразования ордерной системы не происходит.

Во второй половине 20-х гг. архитектура авангарда, и в частности конструктивизм, стала быстро набирать силу, подавляя и парадоксально изменяя неоклассицизм своим влиянием, но не вытесняя его.

В этот период ордер трансформируется в значительной степени, при этом принцип трансформации напрямую зависит от авторства, обобщая все многообразие подходов, можно выделить три основных. Условно их можно назвать:

– *упрощение;*

– *рационализация;*

– *синтез.*

Яркий представитель советского неоклассицизма Иван Фомин, который в 1918-1923 гг. разрабатывал версии мифологизированной утопии на основе романтического классицизма конца XVIII – начала XIX вв., с середины 1920-х гг. перешел к *упрощению* ордерной композиции. Он «...соединял дисциплину ордера с такими постулатами рационалистической эстетики, как необходимость экономии психической энергии восприятия и самоценность простоты, как обязательное соответствие тектонических закономерностей конструктивным свойствам железобетона» [4]. Эти принципы отразились в следующих изменениях ордерной системы: потеря энтазиса, каннелюр, баз и капителей колонн как декоративных элементов, перенасыщающих объект. Колонны у Фомина превратились в сдвоенные, а иногда и строенные полуколонны, не только артикулирующие, но и реально образующие конструктивный каркас здания. Парность должна была преодолеть разрыв между конструктивно необходимым сечением бетонной колонны и привычными глазу пропорциями классических ордеров. Таким образом, колонна у Фомина снова становится несущим элементом, а вот антаблемент, напротив, превращается в декорацию. Архитрав и фриз исчезают, прямо на колонны опирается гладкая стена атти-

кового этажа, прорезанная круглыми окнами и увенчанная чуть нагруженным завершающим карнизом. Круглые окна, немислимые в классике, призваны выразить возможности бетона как высокотехнологичного строительного материала. Кроме того, ради органичного выражения функции здания Фомин уходит от симметрии, характерной для классических композиций. Перечисленные принципы стали основой для изобретения нового стиля, так называемой «красной дорики» (или «пролетарской классики») (рис. 1).



Рис. 1. Дом общества «Динамо» в Москве, 1928-1931, арх. И. Фомин

Использование элементов «красной дорики» характерно для работ А.Я. Лангмана и Л.З. Чериковера. В стадионе «Динамо», построенном архитекторами для клуба НКВД в 1928 г., видим несущие колонны, правда, квадратного сечения, без баз и капителей. На них опирается аттиковый этаж, увенчанный упрощенным карнизом. Плоские ризалиты стен прорезаны круглыми окнами (рис. 2).

В проекте здания Библиотеки имени В.И. Ленина линию упрощенной неоклассики поддержали В.А. Щуко и В.Г. Гельфрейх. В композиции здания использованы сильное угловое построение, асимметрия, динамические формы. Входную группу формируют упрощенные колонны квадратного сечения с лаконичными базами и капителями, которые поддерживают плоский фриз.

Принцип упрощения ордерных форм использовал и Илья Голосов. «Он ставил проблему – до каких пределов классический ордер может быть упрощен, продолжая восприниматься как ордер?» [4]. На пути трансформации ордерной системы И. Голосов занимался поиском главных архетипических средств выразительности и пытался выразить дух времени.

Неизменно убежденный в вечности ценностей классики, Иван Жолтовский пошел по пути **рационализации**, освобождения от романтизма и гибкого пропорционирования, сохраняя при этом прямую связь со словарем классических форм. Неоренессансные формы он приводил к простой и ясной пропорциональной системе, основанной на «человеческой мере» (принцип ее предвосхитил идею «Модулора» Ле Корбюзье). До предела рационализма и схематизации И. Жолтовский доходит в проектах входной арки (рис. 3) и главного павильона для Всероссийской сельскохозяйственной выставки, воплощенных в 1923 г. Постройки эти имели традиционные классические очертания, но были выполнены в деревянном каркасе, как трехмерные схемы, «... тени, а, может быть, силуэты классики – они лишены были детализировки и действовали только посредством массы и узнаваемой иконографической схемы» [3]. При том, что Жолтовский вовсе не являлся сторонником новой архитектуры и не ставил, как Фомин, своей целью трансформацию классического ордера на основе принципов авангарда, разработанные им приемы рационализации удовлетворяют и требованиям экономии труда, материала и психической энергии при восприятии сооружения; принципу органичного эстетического выражения функции и конструкции сооружения.



Рис. 2. Стадион «Динамо», 1928, арх. А.Я. Лангман, Л.З. Чериковер

*Синтез* – это классика, одетая в формы авангарда и различимая лишь на уровне образа, «...новая архитектура, устроенная по классическим принципам симметрии и соподчинения, а иногда и покоя, и снабженная некоторыми значащими классическими формами» [3]. Синтез представляет собой подход, обратный двум вышеописанным. Классическая архитектура здесь не трансформируется по принципам авангарда, а наоборот, навязывает авангардным «обобщенным абстрактным геометрическим формам» собственные принципы:

- классическая симметрия вместо функциональной асимметрии;
- покой вместо прогрессивного движения;
- образ подчинения вместо образа всеобщего равенства.

Это некая мимикрия классики, при которой ордер исчезает как форма и присутствует в архитектурных произведениях лишь как система пропорционирования.

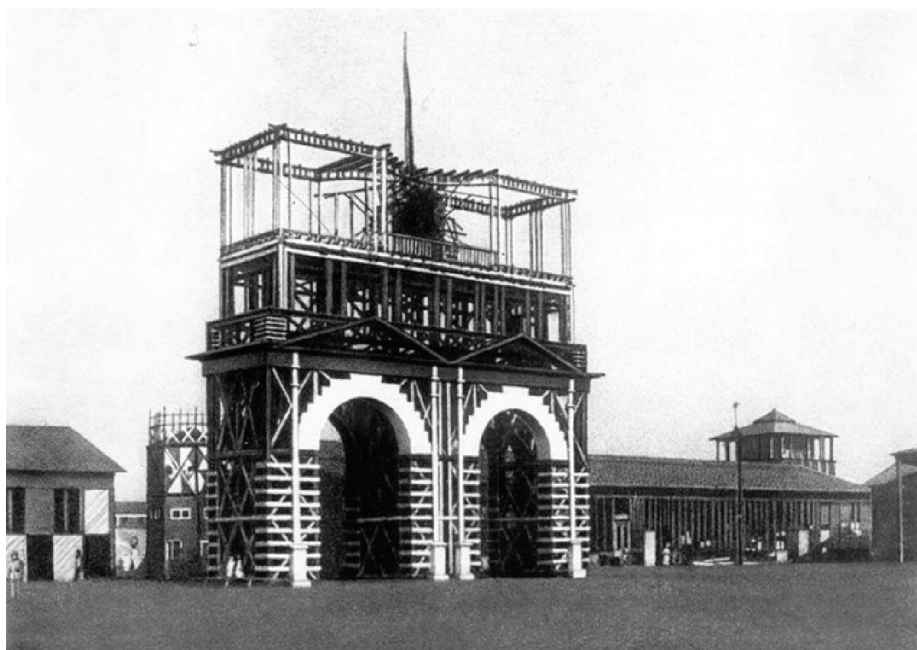


Рис. 3. Входная арка и Главный павильон для Всероссийской сельскохозяйственной выставки, 1923, арх. И. Жолтовский

Синтез является наименее рассудочным подходом из вышеописанных, он предполагает не аналитическую, а, скорее, чувственную работу на уровне образа, с этой позиции синтетический подход нельзя назвать методом. Именно поэтому приемы синтеза активно используются многими зрелыми архитекторами, такими как Б. Иофан, А.Щусев, И. Жолтовский. Получившие в дореволюционной России образование, основанное на тщательном изучении и копировании классических образцов, они чувствуют, что в этом новом времени нет места старым формам.

В творчестве Б. Иофана синтетический подход проявился наиболее ярко и последовательно. Приехавший из Италии в СССР в 1924 г., Борис Иофан «...привез с собой не только фантастическую необарочную и неоримскую стилистику своего учителя Бразини, но и итальянские мысли того времени о современности, а также экспериментальные формы, порождающие экспериментальные иконографические схемы» [3]. Используя для своих объектов симметричные композиции, восходящие к дворцовой архитектуре барокко и классицизма, он обрабатывал фасады в лаконичных формах авангарда, включая в них реплики классических арок (рис. 4).



Рис. 4. Жилой дом в опытном поселке для рабочих, 1925-1930, арх. Б. Иофан

Примером синтеза в творчестве А. Щусева может служить Мавзолей В.И. Ленина на Красной Площади в Москве (1924-1930). В этом сооружении принципы авангарда настолько тесно слились с реминисценциями классики, что практически неотделимы друг от друга. «Ярусность и пирамидальный силуэт, идущие от древних архетипов мемориальных сооружений, соединены в его композиции с лаконизмом формы, присущим авангардной архитектуре 20-х» [4]. Интересно, что первый вариант Мавзолея был сделан Щусевым в классических ордерных формах. Это была традиционная колонная ротонда на постаменте. В процессе переработки, после появления дополнительной функции трибуны, ордерные формы настолько трансформировались, что различимы лишь на уровне образа.

Котельная МОГЭС – самая «современная», на первый взгляд, работа И. Жолтовского также является примером синтеза классических принципов и авангардных форм (рис. 5). Здание котельной представляет собой простую прямоугольную призму, объем которой подчеркивается рядом граненых стеклянных эркеров и завершается рядом труб. Лишь «...ощутимая пропорциональность, читаемая соподчиненность частей позволяют увидеть здесь следы архитектурного классицизма» [3].

Другой вариант синтеза – конкурсный проект здания «Аркас» в Москве, выполненный архитектором А. Гегелло в 1924 г. Стекланный фасад здания представлял собой ряд цилиндрических эркеров. «Эта «стеклянная колоннада», выворачивающая наизнанку привычный стереотип, сохраняла отчетливые классические аллюзии» [4]. Считается даже, что этот проект предвосхитил идею «комнат-колонн» Р. Бофилла, использованную им во французских постройках 1980-х гг.

На фоне прогрессивных методов упрощения ордера и его рационализации ретроспективный по своей сути синтетический подход выглядит парадоксом времени. Его появление можно объяснить лишь тем, что «...в условиях всеобщего и безоглядного поиска нового любой традиционалист (и классицист, в частности) ищет первоосновы архитектуры: они вечны, неизменяемы и несут всеобщие ценности, а значит, подходят и для революционного пролетариата и его государства» [3]. Тогда в не-



отъемлемые и вечные для классициста идеи пропорциональности, соподчинения и симметрии новое вносится через «очищение» от декоративных наслоений и привнесение в классику техницистских деталей.



Рис. 5. Котельная МОГЭС, 1926, арх. И. Жолтовский

Итак, в период с 1918 до середины 1920-х годов влияние новых социально-экономических условий и проблем, формирование новых задач архитектуры и принципов формообразования привело к полному отрицанию классики в теории архитектуры.

Последовавшие во второй половине 1920-х годов попытки приверженцев неоклассицизма трансформировать ордер с учетом новых требований привели к деконструкции ордерной системы с последующим образованием «авангардного ордера».

«Авангардный ордер» – это конструктивная схема, лишенная декоративных элементов, несущие элементы (колонны) которой превратились в «обобщенные абстрактные» параллелепипеды, цилиндры, пучки стержней. Колонны трактовались не только как конструктивные элементы, но и как пространственные объекты, содержащие некие помещения; венчающие несомые элементы (антаблемент) обобщились до простой призмы аттикового этажа или плоского фронтона.

Другой вариант «авангардного ордера» – это призрак ордера, классическая система пропорционирования авангардных форм.

Подводя итог, можно сказать, что именно в период развития советского авангарда, когда ордер подвергся наиболее радикальной трансформации, появилось еще не сформулированное представление об ордерной системе как универсальной системе пропорционирования, свободной от стилевых наслоений, произошло то, о чем уже в конце 1990-х гг. пишет А.Г. Рапапорт: «...восстановление в правах архитектурного ордера, как системы, не совпадающей со стилем и позволяющей сохранять универсальные формы архитектурного языка» [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ревзин Г. Покой и катарсис / Г. Ревзин [Электронный ресурс] // Проект Классика. 2004. № XII-ММIV. Режим доступа: [http://projectclassica.ru/v\\_o/12\\_2004/12\\_2004\\_o\\_01a.htm](http://projectclassica.ru/v_o/12_2004/12_2004_o_01a.htm)
2. Маклакова Т.Г. Архитектура двадцатого века: учеб. пособие для вузов / Т.Г. Маклакова. М.: АСВ, 2001. 200 с.
3. Седов В. Неоклассика в московской архитектуре 1920-х годов / В. Седов [Электронный ресурс] // Проект Классика. 2007. № XX-ММVI – Режим доступа: [http://www.projectclassica.ru/school/20\\_2006/school2006\\_20\\_01a.htm](http://www.projectclassica.ru/school/20_2006/school2006_20_01a.htm)
4. Иконников А. Историзм в советской архитектуре / А. Иконников // Архитектура СССР. 1990. №3. С. 20-27.

5. Раппапорт А.Г. К пониманию архитектурной формы [Электронный ресурс] / А.Г. Раппапорт. 2000. Режим доступа: <http://www.archi.ru/lib/publication.html?id=1850569398&fl=5&sl=2>

**Еремина Елена Николаевна** –  
ассистент кафедры «Архитектура»,  
Саратовского государственного  
технического университета им. Гагарина Ю.А.

**Elena N. Eremina** –  
Assistant Lecturer  
Department of Architecture  
Institute of Construction, Architecture  
and Road Building  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 699.9.014

**Ю.Г. Иващенко, Д.К. Тимохин, А.В. Страхов**

### **МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

*Рассматривается влияние различных по природе ПАВ на структурообразование цементных композиций. Показано, что характер функциональной группы (ОН, СООН, SO<sub>3</sub>H) определяет величину искажения фазового состава модифицированного цементного камня.*

Цементная паста, ПАВ, функциональные группы, диффузионный перенос

**Yu.G. Ivashchenko, D.K. Timokhin, A.V. Strakhov**

### **THE MODIFYING EFFECT OF ORGANIC ADDITIVES IN CEMENT COMPOSITE MATERIALS**

*The article considers the influence of various surfactants on the structure formation of cement compositions. It is shown that the nature of the functional groups (OH, COOH, SO<sub>3</sub>H) determines the amount of the phase composition distortion in the modified cement.*

Cement paste, surfactants, functional groups, diffusive transport

Широко используемые пластифицирующие добавки типа ЛСТ, С-3 группы поликарбоксилатов традиционно относят к поверхностно-активным веществам. Однако классические ПАВ в качестве пластификаторов применяются мало ввиду высокого воздухоовлечения [1, 2, 5]. При адсорбции на цементных частицах не все полярные группы таких ПАВ обращены в сторону твердой фазы, некоторые наименее «фильные» из них, как и неполярные органические радикалы, обращены наружу. Такой адсорбционный слой влияет, прежде всего, на исходную фазу – зерна цемента. Хотя сама пленка может быть моно- или бимолекулярной (в зависимости от дозировки пластификатора), но за счет дальнедействующих ван-дер-ваальсовых сил она удерживает вблизи себя достаточно «толстый» слой воды. По этой причине между твердыми частицами создается гидродинамическая смазка, обеспечивающая снижение коэффициента внутреннего трения. Вместе с этим благодаря физической адсорбции в устьях микротрещин и микрощелей клинкерной части цемента, происходит сглаживание шероховатостей микрорельефа зерен, что также способствует пластификации бетонной смеси. Весьма важной особенностью гидрофильных ПАВ является их пептизирующее (диспергирующее) действие. Пептизация заключается в разделении агрегатов на первичные частицы под влиянием раздвигающего действия активной поверхности цементных частиц в процессе гидратации и гидролиза, что, в свою очередь, ускоряет взаимодействие цемента с водой и уменьшает количество непрореагировавшего клинкерного материала [1-3].

Модифицирующее действие ПАВ приводит к замедлению роста зародышей кристаллических новообразований в результате образования на их поверхности адсорбционных слоев. Замедление роста отдельных зародышей вызывает увеличение общего их числа, т.е. дисперсность кристаллических продуктов гидролиза и гидратации цемента значительно увеличивается, что может оказывать положительное влияние на плотность формирующейся структуры, деформативную способность цементного камня и предельную растяжимость бетона [3].

При адсорбции ПАВ на центрах кристаллизации алюминийсодержащих фаз происходит их стабилизация, заключающаяся в уменьшении скорости роста и накоплении большого количества мельчайших частиц новообразований (часто рентгеноаморфных или плохо закристаллизованных), т.е. дисперсность возникающих структур твердения при введении повышенных концентраций ПАВ возрастает. Это относится как к размерам твердой фазы, так и к среднему эффективному диаметру пор и капилляров.

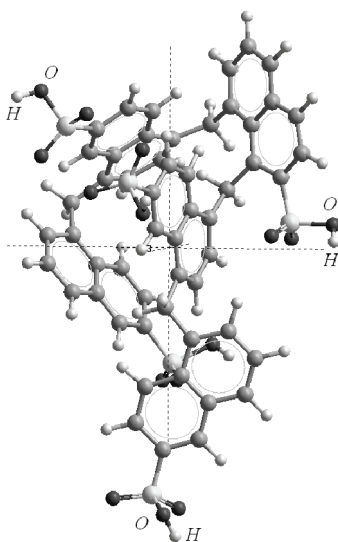
Таким образом, добавки ПАВ, вводимые в небольших количествах (0,2-0,25%), замедляют процессы гидратации и твердения цемента, прежде всего вследствие экранирования его зерен адсорбционными слоями [1, 3, 5].

Анализ данных дифрактограмм образцов цементных паст по различным видам ПАВ, среди которых сульфопроизводные (ПБ-2000), полиоксиэтилированные спирты различного строения (ОП-10; ОП-4; Неонол 9-10), позволяет сделать вывод, что присутствие классических ПАВ меняет лишь структуру слабозакристаллизованной фазы (таблица). Объяснение этому, видимо, лежит в известной способности ПАВ снижать энтропию приповерхностного водного раствора и скорости кристаллизации за счет затруднения диффузионного переноса через структурированные объемы раствора, снижения их растворяющей способности [4], изменения характера взаимодействия гелевой частицы с водой и др. Результатом является наблюдаемое изменение объемов геля и его структуры.

Вид добавки (В/Ц)	Относительные интенсивности рефлексов (J/CaF <sub>2</sub> )									
	CSH(II), (29,5 град)	Алит, (32,4 град)	γ-белит (16 град)	Портландит, (18,2 град)	Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> *H <sub>2</sub> O (30,2 град)	Аморфное гало, мм <sup>2</sup> (26-38 град)	Аморфное гало, мм <sup>2</sup> (14-20 град)	САН <sub>10</sub> (12,4 град)	Эттрингит (9,1 град)	Тоберморит, (24,5 град)
Контрольный без добавки (0,29)	0,34	0,50	0,09	0,30	0,17	5,11	1,58	0,08	-	0,03
Контрольный без добавки (0,33)	0,45	0,63	0,15	0,56	0,26	6,86	-	0,06	0,21	0,05
ОП-10 (0,29)	0,33	0,57	0,06	0,21	0,15	4,36	-	0,06	0,04	0,04
ОП-10 (0,33)	0,31	0,46	0,11	0,30	0,10	5,05	-	0,13	0,09	0,04
ОП-4 (0,29)	0,33	0,49	0,09	0,29	0,16	3,72	1,86	0,07	0,06	0,05
ОП-4 (0,33)	0,36	0,52	0,09	0,50	0,13	4,55	0,28	0,11	0,11	0,03
Неонол 9-10 (0,29)	0,31	0,56	0,08	0,26	0,20	3,07	-	0,05	0,09	0,04
Неонол 9-10 (0,33)	0,44	0,58	0,07	0,23	0,20	5,00	0,71	0,06	0,08	0,08
ПБ-2000 (0,29)	0,37	0,60	0,09	0,35	0,13	6,70	1,32	0,06	0,13	0,05
ПБ-2000 (0,33)	0,36	0,50	0,06	0,33	0,14	6,05	0,77	0,11	0,08	0,06

Примечание: в качестве объекта исследования выступили образцы цементных паст, приготовленных на портландцементе Вольского цементного завода (М400Д0), все добавки дозировались в количестве 0,5% от массы цемента.

Основным отличием традиционных ПАВ от пластификаторов цементных смесей является наличие только одной полярной группы в молекуле, тогда как в молекулах С-3 (рисунок), карбоксилатов, ЛСТ присутствуют несколько функциональных групп. Влияние ПАВ на гидратационные процессы описывается на основе коллоидно-химических представлений [1], заключается в общем виде в диспергации портландита и всех гидросиликатных новообразований, изменении кинетики гидратации и затруднении образования межкристаллитных ростков. Изменение фазового состава не отмечается.



Геометрическое строение суперпластификатора С-3

Анализ данных по различным видам ПАВ, среди которых сульфопроизводные, полиоксиэтилированные спирты различного строения, позволяет сделать вывод, что присутствие классических ПАВ меняет лишь структуру слабозакристаллизованной фазы (таблица), тогда как содержание кристаллических фаз «прецессирует» возле значений контрольного образца. Т.е. отсутствие ОН-групп в составе углеводородного радикала ПАВ почти полностью снимает искажающее действие добавки в отношении кристаллических фаз. Только слабозакристаллизованные фазы достаточно чутко реагируют на присутствие ПАВ, меняя не только свои объемы, но и структуру фазы. Объяснение этому, видимо, лежит в известной способности ПАВ снижать энтропию приповерхностного водного раствора, на что гелевые частицы, связывающие (по своей природе) большие объемы воды возле своей поверхности, будут реагировать, например, снижением скорости кристаллизации (затруднение диффузионного переноса через структурированные объемы раствора в связи со снижением их растворяющей способности [4]), изменением структуры самой гелевой частицы в силу изменения характера взаимодействия с водой и др. И в том, и в другом случае будут наблюдаться изменения структуры слабозакристаллизованных фаз [6].

Сравнительный анализ данных по ПАВ (таблица) позволяет сделать вывод, что характер функциональной группы (ОН, СООН, SO<sub>3</sub>H) определяет величину искажения фазового состава модифицированного цементного камня. При этом следует отметить, что в ряду рассмотренных веществ наибольшее искажающее действие на фазовый состав цементного камня характерно для веществ, в структуре которых присутствует одна или несколько ОН-групп, из чего можно сделать вывод, что низкая поляризующая способность органической добавки на фоне ее высокой способности образовывать большое количество водородных связей в пересчете на одну молекулу (одна ОН-группа участвует в образовании 3 водородных связей, одна – по донорному и 2 – по акцепторному типу) является определяющей в способности добавки исказить фазообразование цементного камня.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. М.: АСВ, 2006. 368 с.
2. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Технопроект, 1998. 768 с.
3. Глекель Ф.Л. Физико-химические основы применения добавок к минеральным вяжущим / Ф.Л. Глекель. Ташкент: Изд-во «Фан» УзССР, 1975. 200 с.
4. Вода в дисперсных системах / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко и др. М.: Химия, 1989. 288 с.
5. Рамачандран В.С. Добавки в бетон: справ. пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
6. Иващенко Ю.Г. Фазообразование модифицированного цементного камня в присутствии органических добавок / Ю.Г. Иващенко, Д.К. Тимохин, К.С. Шубин // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов: Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2008. С. 56-59.

**Иващенко Юрий Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Yuri G. Ivashchenko** – Dr. Sc., Professor  
Head: Department of Construction 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 Construction Materials and Technologies  
Gagarin Saratov State Technical University

**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 Construction Materials and Technologies  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 12.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 539.3

**В.К. Иноземцев, О.В. Иноземцева, А.С. Игнатьев**

### **ИЗГИБ ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛИТ С АРМИРУЮЩИМ СЛОЕМ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА**

*Приведен вывод уточненных уравнений изгиба двухслойной плиты, один из слоев которой обладает высокой сдвиговой жесткостью, а другой вследствие низкой жесткости на сдвиг испытывает деформации поперечного сдвига. В основу уравнений изгиба плиты положена классическая модель прямых нормалей для одного из слоев и нелинейная кинематическая модель для слоя с низкой сдвиговой жесткостью. Сопоставляются линейная и нелинейная сдвиговые модели для слоя с низкой сдвиговой жесткостью.*

Изгиб двухслойной плиты, поперечный сдвиг, модель прямых нормалей

**V.K. Inozemtsev, O.V. Inozemtseva, A.S. Ignatyev**

### **TWO-LAYER PLATE BENDING WITH REINFORCING LAYER OF COMPOSITE MATERIAL**

*The article presents the results of the refined equations for the flexure of a two-layer slab, where one of the layers has a high shear stiffness, and the other, due to low stiffness of the shear, undergoes the transverse shear. The basis for equations of a slab bend is the classical model of direct normals for one of layers and a nonlinear kinematic model for a layer with low shear stiffness. The linear and nonlinear shear models for the layer with low stiffness shear are compared.*

Flexural a two-layer slab, transverse shear, the model of direct normals

Рассмотрим задачу изгиба плиты, усиленной композитным слоем, представляющим собой пакет из слоев наноструктурированного материала типа углепластика УОЛ 300, перемежающихся связующими слоями. Нормативная прочность УОЛ 300 при растяжении составляет 3155 МПа. Модуль упругости равен 240 ГПа. Таким образом, получается расчетная схема изгибаемого элемента в виде двухслойной плиты средней толщины (рис. 1).

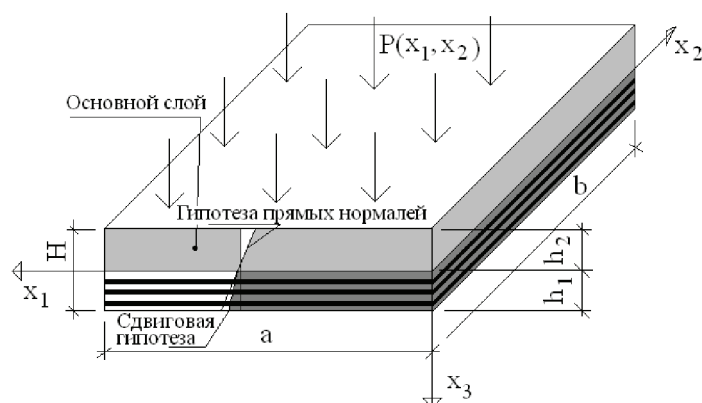


Рис. 1

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 клеявым 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. 1). При этом для основного слоя двухслойной плиты принимается классическая гипотеза прямых нормалей.

Кинематическая гипотеза заключается в разложении перемещений в эквидистантных поверхностях:

$$U_i^k = U_i^0 - zU_{3,i}^0; \quad (i=1,2; \quad k=1)$$

$$U_i^k = U_i^0 + z\gamma_{0i}^k + z^2\gamma_{1i}^k + z^3\gamma_{2i}^k; \quad (i=1,2; \quad k=2) \tag{1}$$

Здесь  $U_i^k, U_i^0$  – перемещения в эквидистантных и координатной поверхностях соответственно,  $\gamma_{ij}^k$  – искомые функции сдвига ( $i=1,2$ ),  $k$  – номер слоя.

Принимая параболический закон изменения касательных напряжений, справедливый даже при изгибе толстых плит, получим выражение для перемещений  $U_i^k$  (рис. 2):

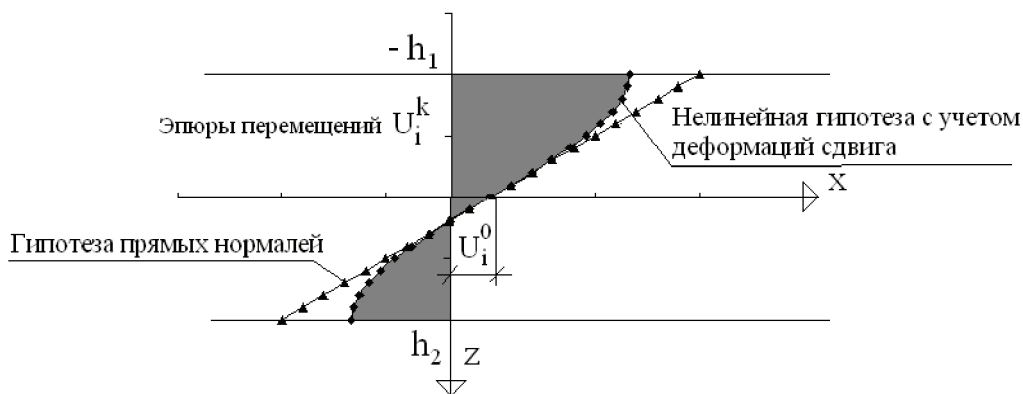


Рис. 2

$$U_i^k = U_i^0 + z\gamma_{0i}^k + \left( z^2 \frac{3\delta_i}{2} - z^3 \right) \frac{1}{(h_k - (-1)^k \delta_i) B h_k} (U_{3,i}^0 + \gamma_{0i}^k); \quad (i=1,2;) \tag{2}$$

Здесь  $h_k$  – толщина  $k$ -го слоя, постоянные  $\delta_i$  определяют положение нейтральной поверхности и находят из условия, что при чистом изгибе двухслойной плиты усилия равны нулю:

$$\delta_i = \frac{B_{ii}^2 (h_2)^2 - B_{ii}^1 (h_1)^2}{B_{ii}^1 h_1 + B_{ii}^2 h_2}; \tag{3}$$

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  $x_2$ ,  $\nu_{ij}^k$  ( $i, j = 1, 2; i \neq j$ ) – коэффициенты Пуассона. На поверхностях  $z = \delta_i$  напряжения  $\sigma_{i3}$  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:

$$U_i^{(1)} = U_i^0 - zU_{3,i}^0;$$

$$U_i^{(2)} = U_i^0 + z\gamma_{0i}^{(2)} + \left( z^2 \frac{3\delta_i}{2} - z^3 \right) \frac{1}{(h_2 - (-1)^{(2)} \delta_i) \mathcal{B}h_k} (U_{3,i}^0 + \gamma_{0i}^{(2)}) \quad (i = 1, 2); \quad (4)$$

Тогда, вводя обозначения

$$t_i = \left( \frac{z^3 - \frac{3\delta_i}{2} z^2}{(h_2 - \delta_i) \mathcal{B}h_2} \right); \quad l_i = \left( \frac{(z^2 - \delta_i z)}{(h_2 - \delta_i) h_2} \right); \quad (i, j, k = 1, 2), \quad (5)$$

получим

$$\xi_{ij}^{(1)} = \frac{1}{2} (U_{i,j}^0 + U_{j,i}^0 - zU_{3,ij}^0 - zU_{3,ji}^0);$$

$$\xi_{ij}^{(2)} = \frac{1}{2} (U_{i,j}^0 + U_{j,i}^0 + (z - t_i)\gamma_{0i,j}^{(2)} + (z - t_j)\gamma_{0j,i}^{(2)}) - \frac{1}{2} (t_i U_{3,ij}^0 + t_j U_{3,ij}^0); \quad (6)$$

$$\xi_{i3}^{(2)} = (1 - l_i) (U_{3,i}^0 + \gamma_{0i}^{(2)}); \quad (i, j, k = 1, 2)$$

Дифференциальные уравнения равновесия и граничные условия получим на базе вариационного метода сведения трехмерной задачи теории пластин к двумерной на основании вариационного принципа Э. Рейснера [1]. Ранее этот метод применялся в [2-4].

$$\int_{t_1}^{t_2} \delta_{u_j} \sigma_{ij} (R - T) - \delta A dt = 0. \quad (7)$$

Здесь R – функционал Рейснера вида

$$R = \iint_S \left\{ \sum_{k=1}^2 \int_{h_k}^3 \sum_{i=1}^3 \left[ \sigma_{ij}^k \xi_{ij}^k - \frac{1}{2} \Pi^k (\sigma_{ij}^k) \right] dx_3 \right\} dx_1 dx_2;$$

где s – поверхность пластины.

$$\Pi^k (\sigma_{ij}^k) = a_{11}^k (\sigma_{11}^k)^2 + a_{22}^k (\sigma_{22}^k)^2 + 2a_{12}^k \sigma_{11}^k \sigma_{22}^k + (G_{12}^k)^{-1} (\sigma_{12}^k)^2 + (G_{13}^k)^{-1} (\sigma_{13}^k)^2 + (G_{23}^k)^{-1} (\sigma_{23}^k)^2;$$

$$a_{ii}^k = (E_i^k)^{-1}; \quad a_{ij}^k = -\nu(E_i^k)^{-1}; \quad i = 1, 2; \quad j = 1, 2; \quad i \neq j;$$

Кинетическая энергия T представима в виде

$$T = \frac{1}{2} \int_s \sum_{k=1}^2 \int_{h_k}^3 \sum_{j=1}^3 \rho_k (U_j^k)^2 dx_3 dx_2 dx_1$$

где  $\rho_k$  – плотность материала слоев.

Вариация работы внешних сил A:

$$\delta A = \int_s \sum_{k=1}^2 \int_{h_k}^3 \sum_{i=1}^3 \sigma_{ij}^k \delta U_j^0 dx_3 dx_2 dx_1 + \int_s P \beta U_3^0 dx_2 dx_1,$$

где первое слагаемое – работа контурных нагрузок, второе – работа поперечной нагрузки, приложенной на поверхности оболочки.

Выписанное вариационное уравнение позволяет получить естественные условия на контуре, начальные условия и систему дифференциальных уравнений движения, описывающих свободные и вынужденные колебания двухслойных пластин. Эта система в случае статики описывает напряженно-деформированное состояние двухслойных пластин. Из условия равенства нулю коэффициентов при вариациях напряжений в выписанном вариационном уравнении, получаются физические соотношения.

Полагая равными нулю коэффициенты при независимых вариациях перемещений в вариационном уравнении и, вводя функцию усилий  $F$ , можно записать следующую систему дифференциальных уравнений с учетом инерции изгиба. Система дифференциальных уравнений равновесия для двухслойной конструкции будет иметь вид

$$\sum_{k=1}^2 \int_{h_k} \sigma_{ij}^k dx_3 = \delta_{ij} \nabla^2 F - F_{,ij}; \quad \nabla^2 = (*),_{11} + (*),_{22};$$

$$M_{11,11} + 2M_{12,12} + M_{22,22} + P = 0$$

$$M_{11,1}^k + M_{12,2}^k - Q_1^k = 0; \quad M_{22,2}^k + M_{21,1}^k - Q_2^k = 0; \quad (k = 2)$$

$$M_{ij} = \sum_{k=1}^2 \int_{h_k} \sigma_{ij}^k z dz; \quad M_{ij}^k = \int_{h_k} \sigma_{ij}^k (z - t_i) dz; \quad Q_i^k = \int_{h_k} \sigma_{i3}^k (1 - l_i) dz$$

Полученные выражения для деформаций соответствуют уточненной модели двухслойной пластины, один из слоев которой ( $k=2$ ) 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 задачу об изгибе 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 другим 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 классического уравнения изгиба плиты:

$$(U_{3,1111}^0 + 2U_{3,1122}^0 + U_{3,2222}^0) = \bar{q}. \tag{9}$$

Здесь  $\bar{q}$  – безразмерный параметр нагрузки.

Для сопоставления приведем систему уравнений, полученную для этого примера с помощью линейной сдвиговой модели для однослойной плиты:

$$\gamma_{01,111} + \gamma_{02,112} + \gamma_{01,122} + \gamma_{02,222} = -\bar{q};$$

$$(\gamma_{0i,ii} + \frac{1+\nu}{2} \gamma_{0j,ij} + \frac{1-\nu}{2} \gamma_{0i,jj}) = (\gamma_{0i} + U_{3,i}^0) \alpha; \quad (i = 1,2) \tag{10}$$

Здесь  $\alpha = \frac{G_{i3}}{G_{i2}} \cdot \frac{a^2}{H^2} (1 - \nu)$ .

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

$$\frac{1}{2} (U_{3,1111}^0 + 2U_{3,1122}^0 + U_{3,2222}^0) - \frac{1}{2} (\gamma_{01,111}^{(2)} + \gamma_{02,112}^{(2)} + \gamma_{01,122}^{(2)} + \gamma_{02,222}^{(2)}) = \bar{q}$$

$$(\gamma_{0i,ii}^{(2)} + \frac{1+\nu}{2} \gamma_{0j,ij}^{(2)} + \frac{1-\nu}{2} \gamma_{0i,jj}^{(2)}) = (\gamma_{0i}^{(2)} + U_{3,i}^0) \alpha^{(2)}; \quad (i = 1,2) \tag{11}$$



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:

$$\begin{aligned} & \frac{2}{5} (\gamma_{01,111}^{(2)} + \gamma_{01,122}^{(2)} + \gamma_{02,112}^{(2)} + \gamma_{02,222}^{(2)}) - \\ & - \frac{3}{5} (U_{3,1111}^0 + 2U_{3,1212}^0 + U_{3,2222}^0) = -\beta^2 U_3^0; \\ & \left( \frac{68}{105} \right) (\gamma_{01,11}^{(2)} + \nu \gamma_{02,12}^{(2)}) + \frac{1-\nu}{2} (\gamma_{01,22}^{(2)} + \gamma_{02,12}^{(2)}) - \frac{16}{105} (U_{3,111}^0 + U_{3,122}^0) - \\ & - \frac{2\alpha}{3} (U_{3,1}^0 + \gamma_{01}^{(2)}) = 0; \\ & \left( 1 - \frac{37}{105} \right) (\gamma_{02,22}^{(2)} + \nu \gamma_{01,12}^{(2)}) + \frac{1-\nu}{2} (\gamma_{02,11}^{(2)} + \gamma_{01,12}^{(2)}) - \frac{16}{105} (U_{3,111}^0 + U_{3,122}^0) - \\ & - \frac{2\alpha}{3} (U_{3,2}^0 + \gamma_{02}^{(2)}) = 0; \end{aligned} \tag{12}$$

Представим функции сдвига  $\gamma_{0i}^{(2)}$  и прогиба  $U_3^0$  в виде тригонометрических рядов, удовлетворяющих краевым условиям шарнирного закрепления:

$$\begin{aligned} \gamma_{01}^{(2)} &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} C_{mn}^{(2)} \cos m \pi x_1 \sin n \pi x_2; \\ \gamma_{02}^{(2)} &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} B_{mn}^{(2)} \sin m \pi x_1 \cos n \pi x_2; \\ U_3^0 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} A_{mn} \sin m \pi x_1 \sin n \pi x_2; \end{aligned} \tag{13}$$

Применяя к полученным системам метод двойных тригонометрических рядов, получим простые аналитические формулы для коэффициентов ряда разложения функции прогиба двухслойной пластины и сопоставим их с результатами учета влияния поперечного сдвига, полученными нами по другим кинематическим моделям.

Проведем численный анализ значений коэффициентов ряда разложения функции прогиба по различным кинематическим моделям. Для этого необходимо определить диапазон изменения параметра  $\alpha$  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 [5] может составлять 6, для стеклопластика [6] – 6,8, более высокое отношение имеет графитопластик [6] – 40. В [8] 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  $\alpha = \frac{G_{i3}}{G_{12}} \cdot \frac{a^2}{H^2} (1-\nu)$ ; имеет диапазон изменения  $0.1875 \leq \alpha \leq 75$ .

Разрешая системы уравнений на базе различных кинематических гипотез, получим наиболее простые ( $m=n$ ) аналитические выражения для неизвестных коэффициентов искомых функций прогиба. Так, для классической кинематической модели имеем

$$A_{mm} = \frac{4p}{D\pi^6 m^6}$$

Для однослойной пластины с низкой сдвиговой жесткостью, учет которой производится на базе линейной сдвиговой модели, получим

$$A_{mm} = \frac{4p}{D\pi^6 m^6} \left( 1 + \frac{2\pi^2 m^2}{\alpha} \right)$$

Для двухслойной пластины с низкой сдвиговой жесткостью одного из слоев, учет которой производится на базе линейной сдвиговой модели, получим

$$A_{mm} = \frac{4p}{D\pi^6 m^6} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{1}{1 + \frac{2\pi^2 m^2}{\alpha}} \right)^{-1}$$

Для двухслойной пластины с низкой сдвиговой жесткостью одного из слоев, учет которой производится на базе нелинейной сдвиговой модели, получим

$$A_{mm} = \frac{4p}{D\pi^6 m^6} \left( \frac{3}{5} + \frac{2}{5} \frac{1 - \frac{16\pi^2 m^2}{35\alpha}}{1 + \frac{204\pi^2 m^2}{105\alpha}} \right)^{-1}$$

При  $\alpha \rightarrow \infty$  решение по уточненным моделям стремится к классическому решению на основе гипотезы прямых нормалей.

Численное сопоставление коэффициентов ряда  $A_{mm}$  :

Таблица 1

Коэффициенты разложения прогиба в ряд $A_{mm} \frac{D\pi^6}{4p}$				
$\alpha$	$m$	линейная модель	нелинейная модель	%
75	1	1,1161872	1,111762	0,398006136
75	3	0,0021152	0,002092	1,101465443
75	5	0,0001131	0,000112	1,195141761
75	7	0,0000159	0,000016	1,199219192
75	9	0,0000036	0,000004	1,194482432

Нетрудно видеть, что с возрастанием  $m$  в разложении функции прогиба в ряд коэффициенты  $A_{mm}$  быстро убывают, то есть ряд быстро сходится. Из табл. 1 также следует, что погрешность вычислений по линейной и нелинейной моделям не превышает 1,2%.

Полученные результаты сопоставления двух моделей: линейной и нелинейной справедливы для двухслойной плиты, один из слоев которой обладает низкой сдвиговой жесткостью, при этом  $\alpha = 75$ .

Для случая двухслойной плиты, один из слоев которой обладает предельно низкой сдвиговой жесткостью, при этом  $\alpha = 0.1875$ , получим (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что погрешность вычислений по линейной и нелинейной моделям и в этом случае не превышает 1,2%.

В дальнейшем будем использовать линейную кинематическую модель.

Перемещения для двухслойной плиты в эквидистантных поверхностях для линейной сдвиговой модели будут:

$$U_i^{(1)} \frac{D\pi^5 m^5}{4p} = -z \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{1}{1 + \frac{2\pi^2 m^2}{\alpha}} \right)^{-1} \text{Cos}(m\pi x_1) \text{Sin}(m\pi x_2);$$

$$\frac{D\pi^5 m^5}{4p} U_i^{(2)} = -z \frac{1}{1 + \frac{2\pi^2 m^2}{\alpha}} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{1}{1 + \frac{2\pi^2 m^2}{\alpha}} \right)^{-1} \text{Cos}(m\pi x_1) \text{Sin}(m\pi x_2);$$

Таблица 2

Коэффициенты разложения прогиба в ряд $A_{mm} \frac{D\pi^6}{4p}$				
$\alpha$	$m$	линейная модель	нелинейная модель	%
0.19	1	1.9810938	1.957962	1.181434295
0.19	3	0.0027406	0.002709	1.177058616
0.19	5	0.0001280	0.000126	1.176683356
0.19	7	0.0000170	0.000017	1.176579295
0.19	9	0.0000038	0.000004	1.176536387

Численно построим эпюры горизонтальных перемещений для пластин при  $m=1$ ,  $\alpha = 75$ ,  $x_1=x_2=0.25$ .

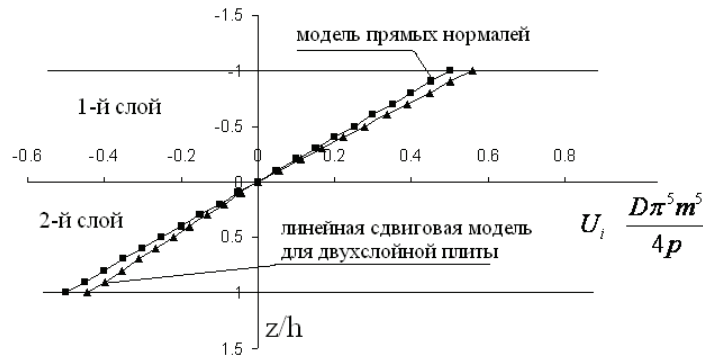


Рис. 3

Из результатов расчета видно, что учет деформаций поперечного сдвига одного из слоев уточняет эпюру перемещений для этого слоя на 13%. Это уточнение может быть гораздо большим при снижении параметра  $\alpha$ . Численно построим эпюры горизонтальных перемещений для пластин при  $m=1$ ,  $\alpha = 10$ ,  $x_1=x_2=0.25$ .

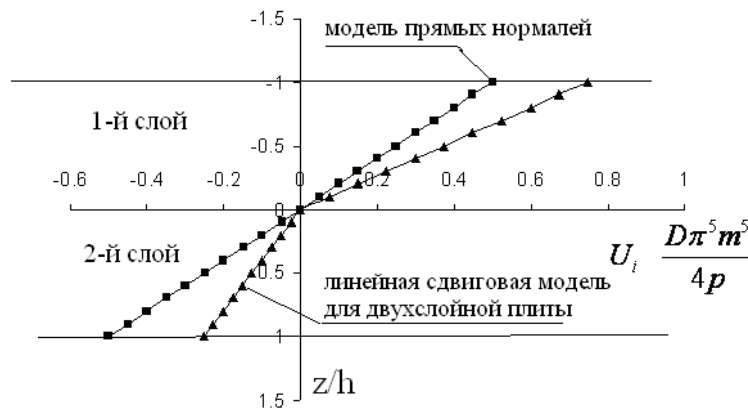


Рис. 4

В этом случае деформации поперечного сдвига развиваются более интенсивно, и различие результатов получаемых по модели прямых нормалей и линейной сдвиговой модели, достигает 98%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Reissner E. On a variational theorem in elasticity / E. Reissner // Math. and Phys. №2. 1950.
2. Прусаков А.П. Нелинейные уравнения изгиба пологих многослойных оболочек / А.П. Прусаков // Прикл. механика. 1976. Т. 7. №3. С. 3-8.
3. Рикардс Р.Б. Устойчивость оболочек из композитных материалов / Р.Б. Рикардс, Г.А. Тетерс. Рига: Зинатне, 1974. 310 с.
4. Рассказов А.О. К теории многослойных ортотропных пологих оболочек / А.О. Рассказов // Прикл. механика. 1976. Т. 12. №11. С. 50-56.
5. Ашкенази К. Анизотропия механических свойств некоторых стеклопластиков / К. Ашкенази. Л.: Ленингр. дом науч.-техн. пропаганды, 1961.
6. Whitney J.M. Bending Extensional Compling in Laminated Plates Under Transverse Loading / J.M. Whitney // Journal of Composite Materials. Vol. 3. Inn. 1969. P. 20-28.
7. Рабинович А.Л. Об упругих постоянных и прочности анизотропных материалов / А.Л. Рабинович // Тр. ЦАГИ. 1946. № 582.
8. Tsai S.W. Private communication / S.W. Tsai // Washington Univ. St. Louis, Mo. Jan. 1970.

**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

**Игнатьев 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 15.07.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 691.405.8

**А.В. Страхов, Н.А. Иващенко, О.А. Кончакова**

### **СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОБАВОК-МОДИФИКАТОРОВ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СИЛИКАТ-НАТРИЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

*Рассматривается возможность применения метода механохимической активации минеральных наполнителей на основе природного и техногенного сырья. Приводится сравнение характеристик различных установок-измельчителей для получения модификаторов направленного действия.*

Механохимическая активация, наполнители, силикат-натриевая композиция, модифицирование

A.V. Strakhov, N.A. Ivaschenko, O.A. Konchakova

## A PROCESS FOR PREPARATION OF FUNCTIONAL ADDITIVES WITH MODIFIER ACTIONS FOR MODIFYING SODIUM SILICATE COMPOSITIONS

*The article considers the possibility for applying the method of mechanical activation of mineral fillers on the basis of natural and man-made materials. The characteristics of various plants, shredders for directional modifiers are compared.*

Mechanochemical activation, fillers, sodium silicate composition, modification

Модифицирование композиционных материалов на основе жидкостеклового связующего более рационально производить за счёт введения в систему «химически активных» наполнителей – добавок-модификаторов направленного действия, которые будут способствовать повышению строительно-эксплуатационных характеристик готового композиционного материала. Особую роль наполнители-модификаторы играют при формировании структуры теплоизоляционных материалов, получаемых по принципам холодного или горячего вспенивания.

Одним из более эффективных способов создания активных минеральных наполнителей направленного действия является механохимическая активация.

Процессы измельчения и механохимической активации исходного сырья являются одной из важнейших стадий в производстве большинства композиционных материалов.

Под механохимической активацией понимают такую механическую обработку твердого вещества, при которой происходит изменение его физико-химических свойств: увеличение концентрации дефектов различной природы, ослабление и разрыв химических связей, изменение электронного состояния и координационного окружения элементов и т.д., приводящее к повышению реакционной способности твердого вещества [1].

Применение механохимической активации способствует повышению технико-экономических показателей для действующих в настоящее время производств, а также предлагает выход на более высокий уровень в разработке новых перспективных материалов. Механохимическая активация твердых тел изучает комплекс взаимосвязанных явлений и процессов, протекающих при механическом воздействии на твердое тело как в момент механической обработки, так и после его завершения [2].

В результате механоактивации повышается запас свободной энергии вещества, который возникает за счет увеличения поверхности и дефектности структуры обработанного твердого тела. Наивысшие значения свободной энергии возникают непосредственно в момент механического воздействия на твердое тело, что обуславливает термодинамически метастабильное состояние вещества. Затем происходит релаксация структуры в сторону менее энергоемких состояний. Однако часть энергии остается в твердом теле, что и обеспечивает повышение химической активности механически обработанных систем по окончании деформационных воздействий.

Установлено, что механоактивированные материалы могут аккумулировать до 10% затраченной на помол энергии. Тем самым, в результате измельчения высвобождается часть внутренней энергии вещества, реализуемой в последующих физических и химических превращениях.

Возникающие в измельчаемом материале упругие напряжения концентрируются на определенных участках, ими в основном являются микротрещины, поры, границы кристаллов и блоков.

На степень активации материала существенное влияние оказывает вид измельчителя. В ходе данной работы было установлено, что при получении многокомпонентных минеральных добавок-модификаторов ультрадисперсной размерности наибольшую эффективность имеет процесс механоактивации, проводимый на планетарной мельнице. Данный способ позволяет достичь размерности частиц добавки-модификатора до  $10^{-7}$  м.

В качестве компонентов при получении добавки-модификатора направленного действия использовались следующие компоненты техногенного происхождения:

1) Фильтрационный осадок (дефекат) – отход сахарного производства соответствует ТУ 9112-005-00008064-95 «Осадок фильтрационный». По степени дисперсности дефекат представляет собой разнородную массу от рыхло-дисперсной и почти несвязной до агрегатов с образовавшимися комками и достаточно прочной структурой. По водородному показателю дефекат имеет ярко выраженную щелочную характеристику –  $pH = 11,7-13,43$ . Химический состав дефеката преимущественно сложен

из  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgCO}_3$  и другими органическими и неорганическими компонентами. Дефекат использовался в виде тонко измельченного на планетарной мельнице порошка до удельной поверхности  $S_{\text{уд}}=350-390 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

2) Пиролизная сажа – твердый остаток пиролиза образуется при пиролизе изношенных шин и резиновых отходов, соответствует требованиям ТУ 3723-005-0136353-2003 «Твердый остаток пиролиза шин». В результате рентгенофазового анализа было выявлено, что среди пиков наибольшее значение имеют пики, соответствующие  $\text{ZnO}$  и  $\text{ZnS}$ . Показатель кислотно-основных свойств  $\text{pH}=6-8$ .

3) Фосфогипс – побочный продукт производства экстракционной фосфорной кислоты, получаемой путем разложения апатитового концентрата серной кислотой ТУ 2141-677-00209438-2004 «Фосфогипс». По внешнему виду фосфогипс – твердое мелкокристаллическое вещество от светло-серого до темно-серого цвета с наличием агрегатов в виде комков. Влажность фосфогипса достигает 28-32%. Результаты рентгенофазового анализа показывает, что фосфогипс состоит в основном из частиц  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  – до 95%, покрытых пленками  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{F}$ , с включениями кварца.

Получение добавки-модификатора производилось путем совместного помола компонентов (портландцемент + дефекат / фосфогипс + алюминиевая паста) в равных долях с добавлением 10% пиролизной сажи. В данном случае пиролизная сажа выполняет роль пластификатора и расклинивающего компонента, который позволяет снизить энергозатраты на процесс механоактивации. Для определения наиболее эффективного измельчителя-активатора механоактивацию производили в 4 типах мельниц. Наибольший эффект показала планетарная мельница Zond-XW16, в которой при механоактивации в течение 7 минут при заданной нагрузке 6г дисперсность наполнителя-модификатора достигала  $9 \times 10^{-7} - 7 \times 10^{-6}$  м, в то время как остальные мельницы при аналогичных условиях показали худшие результаты (таблица).

Сравнение энергетической эффективности различных мельниц

Тип мельницы	Основной вид воздействия	Количество актов воздействия	Скорость соударения	Подводимая энергия в пересчете на массу измельчаемого материала	Дисперсность частиц наполнителя, м
Барабанная (шаровая)	Удар (давление)	$N = nt$	$V = \sqrt{2gD}$	$E_{th} = \frac{m_1}{m_2} ntgD$	$10^{-6}$
Вибрационная	Удар (трение)	$N = nt$	$V = 4\pi na$	$E_{th} = \frac{m_1}{2m_2} nt(4\pi na)^2$	$10^{-4}$
Планетарная	Удар (трение)	$N = nt$	$V = \sqrt{2bD}$	$E_{th} = \frac{m_1}{m_2} bntD$	$10^{-7}$
Кольцевая (роликовая)	Трение (давление)	$N = nt$	$V = \pi nD$	$E_{th} = \frac{F_1}{m_2} nt\pi D\mu(v)$	$10^{-5}$

Введение указанных компонентов добавок в силикат-натриевое связующее по отдельности приводило к увеличению средней плотности композиционного материала, неравномерному образованию и распределению пор в композиционном материале. При применении модификаторов направленного действия, полученных методом механоактивации, были получены теплоизоляционные материалы на основе силикат-натриевого связующего со следующими характеристиками: средняя плотностью 260-300  $\text{кг}/\text{м}^3$ , прочность при сжатии 0,8-0,95 МПа, коэффициент водостойкости  $K_{\text{в}}=0.75$  и коэффициент теплопроводности 0,058  $\text{Вт}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$ .

Из вышесказанного можно сделать вывод, что механоактивация в технологии неорганических материалов является многовариантным методом управления процессами синтеза, фазовым составом, структурой и, соответственно, свойствами материалов, а изучение процессов, проходящих во время механоактивации, является актуальной задачей.

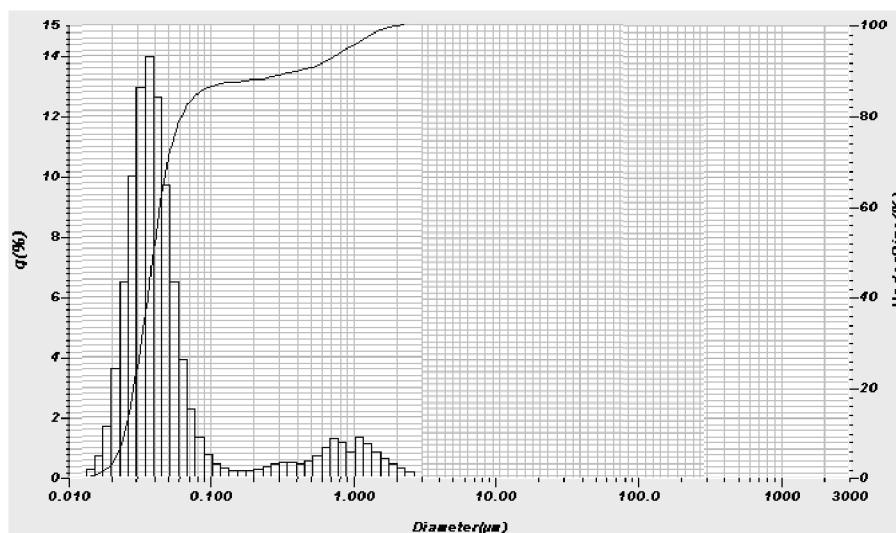


Рис. 1. Кривая распределения дисперсности частиц добавки-модификатора, полученная на планетарной мельнице

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Механохимический синтез в неорганической химии: сб. науч. тр. / под ред. Е.Г. Аввакумова. Новосибирск: Наука, 1991. С. 32-52.
2. Temujin J. Mechanical treatment of solid mixtures – a promising way of synthesizing ceramic precursors / J. Temujin // Химия в интересах устойчивого развития. 2001. № 9. С. 589-595.

**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 Construction 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 Construction Materials and Technologies  
Gagarin Saratov State Technical University

**Кончакова Ольга Александровна** – магистрант кафедры «Строительные материалы и технологии» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Olga A. Konchakova** – Postgraduate  
Department of Construction Materials and Technologies  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

## ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ И КУЛЬТУРОЛОГИЯ

УДК 316.754

**М.В. Алешина**

### СОЦИАЛЬНАЯ СПЛОЧЕННОСТЬ: КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ ПОНЯТИЯ

*Анализируется современное научное понимание социальной сплоченности как комплекса идей и теорий не только социальной сплоченности, но и социального согласия и социального доверия, содержание которых зависит от социального и политического режима, стабильности, реальной социальной политики государства. Раскрывается семантическое содержание категории социальной сплоченности, ее обусловленность благополучием, интеграцией социальных групп, успешности социальных процессов.*

Социальная сплоченность, социальная политика, социальная стабильность, социальное доверие, социальная интеграция, социальная инклюзия

**M.V. Aleshina**

### SOCIAL COHESION: CONCEPTS CONCEPTUALIZATION AND SOCIAL REALITIES

*The article analyzes the current scientific understanding of social cohesion as a set of ideas and theories not only of social cohesion, but also of the social harmony and social trust, whose content depends on the social and political regime, stability, and real social policy. The author reveals the semantic content of the category of social cohesion conditioned by welfare, integration of social groups, and success of social processes.*

Social cohesion, social policy, social stability, social trust, social integration, social inclusion

Категория социальная сплочённость относится к созданию работоспособных механизмов социальной справедливости, социальной инклюзии и доверия [1]. Сегодня социальная сплоченность рассматривается в качестве приоритетной концепции развития общества, ориентированной на социокультурную интеграцию, преодоление, сглаживание, стирание социально-экономических раздельных линий внутри социумов с целью достижения их гомогенности и устойчивости. Социальная сплоченность – ключевое понятие, включающее ценности и принципы, направленные на обеспечение для всех граждан равного доступа к основным социальным и экономическим правам. Оно напоминает нам о необходимости осознания и коллективного внимания к любым формам дискриминации, неравенства, маргинальности или исключения. С операциональной точки зрения стратегией социальной сплоченности является любое действие, обеспечивающее каждого гражданина, индивида в рамках его сообщества возможностью иметь доступ к средствам обеспечения базовых потребностей, развития, защиты и юридических прав, к обретению достоинства и социальной уверенности.

В Европейском союзе с начала 2000-х годов внедрена и активно применяется стратегия и система оценки социальной сплоченности, а в России научные и аналитические разработки этого вопроса практически отсутствуют, феномен социальной сплоченности пока находится на периферии интересов органов исполнительной власти. Проблема социальной сплоченности лишь в феврале 2008 года в Москве была поставлена в повестку дня на конференции министров социального блока государств – членов Совета Европы и России под названием «*Инвестировать в социальную сплочённость – инвестировать в стабильность и благополучие общества*». В. Путин указал на исключительную важность данной повестки дня, ратификация Россией 16 октября 2009 года Европейской социальной хартии



позволяет заложить правовые основы *социальной сплоченности*. На первом этапе требуются формулировка стандартов, индикаторов и показателей, проведение мониторинга и оценки состояния социальной сплоченности. Следующим этапом является разработка ряда мер, способствующих повышению уровня социальной сплоченности. В задачи третьего этапа входит оказание органам государственной и местной власти, структурам гражданского общества помощи в разработке и реализации эффективной программы действий, направленной на повышение уровня социальной сплоченности.

В документах Совета Европы социальная сплоченность понимается как способность общества гарантировать благополучие, минимизируя неравенство и избегая поляризации. Благополучие подразумевает равенство прав, достоинство и признание каждого человека, автономию и личностное самовыражение, возможность полноправного участия в жизни общества. Социальная сплоченность выступает сегодня стратегической целью международных организаций, включая ООН [2], ЮНИСЕФ [3], Совет Европы [4] и фундаментальной категорией социальной политики в целом ряде стран. Эта тема оказалась предметом дискуссий глобальных форумов, состоявшихся в последние 15-20 лет на всех континентах, в ряде стран внедрена и активно применяется стратегия развития и система оценки социальной справедливости, социального согласия и доверия [5]. Идеология «социальной сплоченности» относится к созданию работоспособных механизмов социальной справедливости, социальной инклюзии и доверия [6]. Причиной разработки концепции в конце XX века стало то, что во многих странах ЕС было зафиксировано увеличение разрыва между интересами социальных групп, отмечены тенденции дезинтеграции современных обществ и индивидуализации их членов [7]. В качестве системы показателей состояния социальной сплоченности в этих документах предлагается набор критериев, отражающих комплексные оценки благополучия граждан, уровня социального доверия, оценка дискриминации населением и другие.

Если в Европе данная концепция получила полное признание, то в России её основные положения пока только обсуждаются [8]. В настоящее время, несмотря на значимость роли социальной сплоченности в жизнедеятельности государства, она слабо отражена в федеральных и региональных программах государственных и общественных организаций Российской Федерации. Причина – отсутствие научной проработанности данной проблематики и потребности в этом органов государственной власти. Между тем актуальность создания концепции социальной сплоченности, социальной консолидации обусловлена необходимостью снижения уровня социальной напряженности: значительная (в десятки раз) поляризация людей по экономическому статусу, отсутствие стабильной занятости, «демографическая яма», увеличение миграционного прессинга, тотальное ухудшение состояния здоровья людей, недоступность образовательных услуг широким слоям населения, криминализация, коррупционные механизмы. Приспособление к новизне, высвобождение прежде не задействованных адаптационных ресурсов становится важной задачей, ориентированной на реализацию интересов и социальное партнерство социальных групп. Сплоченное общество характеризуется балансом социальной структуры и культуры, ключевая предпосылка состоит в том, что сплоченные общества сохраняют стабильность до тех пор, пока конфликт и деструктивное поведение не угрожают интеграции.

Теоретическое обоснование концепции социальной сплоченности базируется на понятиях солидарности, социальной справедливости, социальной инклюзии и прав человека, социального капитала. Привлечение концепта сплоченности позволит включить в анализ не только ценности и установки группы, сообщества, но и механизмы нарушения и достижения солидарности, в том числе при помощи соответствующих институтов и нормативных требований к государственным служащим, выработки соответствующих навыков, препятствующих изоляции и маргинализации социальных групп (мигранты, инвалиды, безработные, пенсионеры). Сегодня отказываются от охвата бесконечной реальности исчерпывающей идеей, от ценностей гигантизма, универсальности, суперпроектов коллективизации, великих строек коммунизма, поворота рек, освоения целины, всемирной революции. Однако идея социального государства, декларированная в конституции, разработана недостаточно, коррелируя с идеологией высокого модернизма [9], не прекращаются идеологические споры и политическая борьба между приверженцами разных типов государства и вариантов социальной политики. Вместе с тем формирование идеологии сплоченности происходит в самых разных социальных мирах – мир маленьких людей, мир элиты, средних, базовых, нижних слоев [10], социальные идеалы людей изменились, но жизненные ценности как некие стратегические принципы и детерминанты поведения социальных групп в определенной культурной среде устойчивы в течение длительного времени.

Солидный опыт исследований проблематики социальной сплоченности имеется за рубежом: европейская социальная модель и социальная сплоченность [11]; зависимость степени сплоченности от ментальности нации [12]; методология измерения общественного благосостояния [13]; соотношение уровня криминализации общества и уровня социальной солидарности, сплоченности [14]; функции группового сплочения в результате конфликта [15]; степень социальной сплоченности и конфликт [16]; социальные по-

казатели и методы измерения, анализа качества жизни [17]; эволюция сплоченности общества [18]; зависимость степени агрессии в обществе от степени социальной сплоченности [19]; концепция благосостояния и качества жизни, «подход потенциальных возможностей» [20]; государство как форма холистской политической сплоченности нации [21]; показатели социальной интеграции в ЕС [22]. С критических позиций анализируются концепции «благополучное общество», «хорошая жизнь», «качество жизни», «стабильность», «социальный капитал» и «общественная солидарность»; актуализирована потребность в операционализации и разработке соответствующих показателей с учетом процессов глобализации и интернационализации; в создании действенных показателей для измерения уровня благосостояния в различных точках мира, а также эффективности проведения политики «стабильности».

В России данная проблематика представлена идеями: социальная сплоченность российского общества: дискурс и программы действий [23, 24], социальная сплоченность и социальная отчужденность [7]. Понятийное поле социальной сплоченности рассматривается как интегратор важнейших «нервных узлов» любого общественного организма; во всех обществах в той или иной степени проявляются как социальная сплоченность его членов, так и социальная отчужденность. Соотношение состояний «согласия» и «разногласия» в обществе по тем или иным вопросам зависит от многих социальных, экономических, этнических, культурных и политических факторов. Добиться полного согласия в обществе по ключевым вопросам его жизнедеятельности крайне сложно, поэтому во всех социумах отмечается определенная напряженность между слоями и группами. Индикатором социальной напряженности и различных видов материального и статусного давления традиционно считается материальное состояние общества, которое характеризуется контрастом полюсов богатства и бедности. Когда разрыв между богатыми и бедными чрезмерно велик, потенциал напряжения между полюсами богатства и бедности значителен, приходят социальная отчужденность, антагонизм и противостояние, рост социальной напряженности. Преодолеть такое состояние можно с помощью мер по сокращению материального неравенства и восстановлению справедливости. Идея в том, чтобы контролировать имеющиеся различия, не доводя их до уровня, угрожающего равновесию общества, залогом социальной сплоченности является способность общества обеспечивать благополучие всем членам, сводить к минимуму неравенство и избегать социальной поляризации.

Методологические подходы и теоретические предпосылки к разработке темы социальной сплоченности, пониманию социального пространства, анализу социального порядка, социальной интеграции заложены в фундаментальных классических и современных работах [25-33], а также в трудах отечественных ученых [34, 35]. Представлен развернутый анализ проблем социальной сплоченности в аспекте подходов к анализу особенностей трансформации государственной социальной политики, признания прав и свобод каждого человека, создания гражданского общества, построения социального государства. Консолидация общества возможна лишь на основе плотных коммуникационных связей, при этом образование выступает одним из наиболее важных социальных институтов, а широкая социальная доступность средств массовой информации способствует становлению гражданского общества. Непрерывная иммиграция обуславливает определенную нагрузку на жизнеспособность модели государства всеобщего благосостояния, реализация которой в настоящее время в условиях финансово-экономического кризиса затруднительна. Социальная изоляция дезадаптированных категорий населения приводит к структуризации и динамизации процессов неравенства между социальными группами, что создает неравный доступ к ресурсам, определяющим качество жизни представителей сообщества. В данной ситуации возрастает роль социального обеспечения, грамотная реализация мероприятий которого содействует не только социальной консолидации, но и росту экономических показателей. Мировой финансово-экономический кризис вызвал беспрецедентные трудности для людей и обществ во всем мире, серьезные вызовы для систем соцобеспечения. Так, кризис негативно отразился на инвестировании фондов социального обеспечения. Растущая безработица негативно сказалась на объеме собираемых взносов, при этом расходы на социальные пособия возросли. В то же время многие правительства стали использовать системы социального обеспечения как существенный инструмент противодействия кризису. Системы социального обеспечения продемонстрировали, что они являются ключевым компонентом восстановительных мер, которые способствуют оживлению экономики, стимулируют совокупный спрос и поддерживают социальную сплоченность, защищая уязвимые слои населения.

Сплоченность и солидарность являются близкими по своему семантическому наполнению терминами, в пример связи между этими понятиями мы можем привести анализ солидарности, в котором при ее определении и интерпретации используется терминология социальной сплоченности. При этом понятие солидарности рассматривается с точки зрения различных социологических традиций [36]: социологическая, конфликтологическая, интеракционистская (символический интеракцио-

низм). Этот факт демонстрирует наличие социологической традиции в исследовании социальной сплоченности и наличие различных подходов к объяснению этого феномена социальной жизни. Единство целей, поддержание позитивных социальных взаимодействий, устойчивость социальной жизни, усиление контроля за поведением индивидов [35] обуславливает однородность и равновесие социальной системы, стабильность структуры общества, создает основу формирования сплоченности общества. Анализ доступных публикаций свидетельствует о недостаточной комплексной разработанности проблемы социальной сплоченности в российском контексте; наблюдается первичная рефлексия европейского опыта и попытки его адаптации к нашей стране; отсутствуют фундаментальные исследования проблемы, которые важны для разработки пророссийской концепции сплочения общества, выявления зависимостей социальных процессов, определения социально-интеграционных принципов, подходов с учетом специфического многообразия мирового опыта и уникальности собственно российской ситуации.

До настоящего времени в мире отсутствует общепринятое определение социальной сплоченности, хотя сам термин был запущен в широкий оборот в рамках ООН еще во второй половине 1940-х годов. Однако есть некое понимание, что речь идет о состоянии общества, сплоченном общими ценностями и узами солидарности. В таком обществе отнюдь не исключаются социальные различия и противоречия, однако не допускается слишком большого разрыва между богатыми и остальными слоями населения, а различия и противоречия не перерастают в социальные антагонизмы и потрясения. Совет Европы исходит именно из такого толкования: под социальной сплоченностью понимают способность общества обеспечивать благополучие своих членов, сводить к минимуму неравенство и избегать поляризации общества. Сплоченное общество – это община, которая состоит из свободных граждан, выполняющих общие задачи демократическим путем [37]. Социально сплоченное общество – это общество с прочно установившимися правами для каждого члена, где группы и отдельные люди действуют ответственно, социальный диалог принят нормой, институты и законы работают во имя гражданского диалога и активной вовлеченности людей в демократические процессы, доминируют чувства безопасности и уверенности в завтрашнем дне [7]. Солидарность трактуется как единство убеждений и действий, взаимопомощь и взаимная поддержка членов социальной группы, основанные на общности интересов и необходимости достижения общих групповых целей. Успешная реализация процессов социальной инклюзии, социальной солидарности, социальной интеграции потенциально обуславливает высокий уровень социальной сплоченности.

Примером эмпирического исследования социальной солидарности, основанного на статистических параметрах сообществ, является работа, в которой раскрывается структура социальной солидарности различных профессиональных групп на основе анализа общих ценностей [38]. В качестве профессиональных групп рассматривались офицеры, директора, фермеры, колхозники, бюджетники и некоторые другие группы (всего 12 групп). Ясно, что предложенные группы являются в некотором смысле субъективно сконструированными и не могут считаться однородными, что может послужить причиной критики выбранного подхода. Список ценностей состоит из 59 позиций и включает «справедливость», «законность», «деньги» – основная идея заключается в том, что уровень солидарности группы определяется по рейтингу оценивания различных ценностей. Автор использует так называемый рефлексивный подход к анализу ценностных ориентаций, когда их формирование подобно тому, как осуществляется процесс информирования индивидов, социальных групп. Сопоставление ценностей осуществляется на основе их рейтинга, выявляющего ценностные предпочтения разных социальных групп. В исследовании не только выделялись имеющие схожие ценностные комплексы профессиональные группы с помощью корреляционного анализа, но и направления формирования таких комплексов под влиянием других групп. В результате выявлена наибольшая рефлексивная солидарность у близких по социальному положению групп: предпринимателей и фермеров, бюджетников и безработных (в большинстве своем бывшие бюджетники). Кроме того, в качестве результата предложена иерархия профессиональных групп, среди которых лидирующей объявляется группа, оценки ценностей которой по важности признаны большинством других групп в качестве эталона, следовательно, с ней готово солидаризоваться большинство групп. Таким образом, исследование зависимостей оценок ценностей позволило увидеть не только связи между группами, но и структуру формирования, влияния одних групп на другие.

Другой пример – исследование, которое посвящено анализу структуры социального капитала этнических групп в современной России [39]. Социальный капитал в этом случае рассматривается как структура, которая включает достаточно широкий список групповых характеристик, ассоциируемых именно с качествами социальной сплоченности – общие нормы, ценности, правила. Автор указывает на связь между социальным капиталом и социальной сплоченностью социальной группы.

Другим важным мерилom социального капитала и, соответственно, социальной сплоченности являются доверие и толерантность по отношению к представителям своей социальной группы и внешних для нее групп. Изучение этнических групп осуществляется с помощью метода семантического дифференциала с заменой стандартных для этого метода факторов на следующие: ценность отдельного индивида с компонентами – толерантность, доверие, единая идентичность, уважение как аспект социальной сплоченности; социальная поддержка, характеризующая, насколько респонденты ощущают поддержку со стороны различных социальных институтов и общность, солидарность с ними. На основе этой методологии делается вывод об относительно невысоких уровнях толерантности и доверия и, соответственно, низком уровне социального капитала, что свидетельствует и о низкой социальной сплоченности русских, и о слабой включенности в систему институциональных отношений. Наибольшим доверием пользуются социальные институты, которые определены родством, отношениями дружбы, непосредственного соседства. Наименьшим доверием пользуются институты, которые связаны с формированием системы государственной власти. Пример этого исследования дает возможность понять структуру операционализации социальной сплоченности, предлагает ориентиры и гипотезы, которые могут быть проверены в исследованиях. Успешная социальная интеграция на групповом уровне потенциально создает предпосылки для успешной микросоциальной сплоченности, а интеграция в общество – основу для эффективной макросоциальной сплоченности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ярская В.Н. Социальная сплоченность: выбор идеологии и механизма реализации / В.Н. Ярская, Е.Р. Ярская-Смирнова // Интеллигенция и идеалы российского общества: сб. ст. по материалам XI Междунар. теоретико-методол. конф. Серия «Интеллигенция и современность». Вып. XI / под ред. Ж. Тощенко. М.: РГГУ, 2010. 730 с. С. 150-159.
2. Theme of social cohesion intimately linked with united nations work worldwide, 9.11.2007 // <http://www.un.org/News/Press/docs/2007/sgsm11269.doc.htm>
3. UNICEF. Social and economic policy // [www.unicef.org/socialpolicy/index\\_50745.html](http://www.unicef.org/socialpolicy/index_50745.html)
4. A new strategy for Social Cohesion European Committee for Social Cohesion (CDCS). Revised strategy for Social Cohesion approved by the Committee of Ministers of the Council of Europe on 31 March 2004 // [http://www.coe.int/t/dg3/socialpolicies/socialcohesiondev/source/RevisedStrategy\\_en.pdf](http://www.coe.int/t/dg3/socialpolicies/socialcohesiondev/source/RevisedStrategy_en.pdf)
5. Яковсон Л.И. Социальная политика: попечительство или солидарность? / Л.И. Яковсон // Общественные науки и современность. 2008. № 1. С. 69-80.
6. Социальная политика современной России: социологический анализ тенденций инклюзии: коллективная монография / Алешина М.В., Бабаян И.В., Плева И.Р., Романов П.В., Ярская-Смирнова Е.Р. и др.; под ред. Д.В. Зайцева, В.Н. Ярской. Саратов: СГТУ, 2010. 220 с.
7. Роик В. По пути социальной сплоченности: Новый компас социальной политики / В. Роик // Социальное партнерство. 2009. №3. С. 2-5.
8. Орлова С. Социальная сплоченность – веление времени / С. Орлова // [http://www.council.gov.ru/print/inf\\_ps/chronicle/2009/02/item9233.html](http://www.council.gov.ru/print/inf_ps/chronicle/2009/02/item9233.html). Обращение к ресурсу 12.01.2012.
9. Скотт Дж. Благими намерениями государства / Скотт Дж. М.: Университетская книга, 2005. С. 20-21.
10. Заславская Т.И. Современное российское общество. Социальный механизм трансформации / Т.И. Заславская. М.: Дело, 2004. С. 87, 108, 151, 298.
11. Витте Л. Европейская социальная модель и социальная сплоченность: Какую роль играет ЕС? / Л. Витте // Европейская политика. 2004. № 12. С. 10.
12. Гиддингс Ф. Основания социологии / Ф. Гиддингс; пер. с англ. Н.Н. Спиридонова. М., 1898.
13. Древновски Я. Индекс уровня жизни. НИИ социального развития / Я. Древновски, В. Скотт. Нью-Йорк, 1966. 284 с.
14. Дюркгейм Э. О разделении общественного труда / Э. Дюркгейм. М.: Канон, 1996. 432 с.
15. Зиммель Г. Теория конфликтного функционализма / Г. Зиммель. М., 1993. 252 с.
16. Козер Л. Функции социального конфликта / Л. Козер. М.: Идея-Пресс, 2000. 205 с.
17. Нолль Х.-Г. Снова на пути к хорошему обществу? / Х.-Г. Нолль, Г. Эспин-Андерсен // SPERO. 2006. №5. С. 7-32.

18. Раддай Р. Как править обществом / Р. Раддай // [http://zhurnal.lib.ru/r/raddaj\\_r/instruction.shtml](http://zhurnal.lib.ru/r/raddaj_r/instruction.shtml). Обращение к ресурсу 07.02.2012.
19. Самнер У. Народные обычаи. Исследование социологического значения обычаев, манер, привычек, нравов и этики / У. Самнер // <http://www.ecsocman.edu.ru/data/238/114/1217/RUBEV12x20-x200010-32.pdf>. Обращение к ресурсу 09.02.2012.
20. Сен А. Развитие как свобода / А. Сен. М.: Новое издательство, 2004. 425 с.
21. Шмитт К. Понятие политического / К. Шмитт // Вопросы социологии. 1992. Т. 1. № 1.
22. Atkinson T. Cantillion, Bea / Marlier, Eric / Nolan, Brian (2002) Social Indicators. The EU and Social Inclusion. Oxford: Oxford University Press.
23. Авцинова Г.И. Социальная сплоченность российского общества: некоторые аспекты политологического дискурса и программы действий / Г.И. Авцинова // Социальная политика и социология. 2009. №3. С. 191-205.
24. Николаева М. Социальная сплоченность российского общества / М. Николаева // <http://council.gov.ru>. Обращение к ресурсу 09.02.2012.
25. Бурдые П. Социология политики / П. Бурдые; пер. с фр.; сост., общ. ред. и предисл. Н. А. Шматко. М.: Socio-Logos, 1993. 336 с.
26. Вебер М. Избранные произведения / М. Вебер; пер. с нем.; сост., общ. ред. и послесл. Ю. Н. Давыдова. М.: Прогресс, 1990. 808 с.
27. Гидденс Э. Устроение общества: Очерк теории структуризации / Э. Гидденс. М.: Академический проект, 2005. 528 с.
28. Знаниецкий Ф.В. Исходные данные социологии / Ф.В. Знаниецкий // Американская социологическая мысль: тексты / под ред. В.И. Добренкова. М.: Изд-во МУБиУ, 1996. С. 60.
29. Мертон Р. Социальная теория и социальная структура. М.: АСТ, 2006
30. Миллс Ч. Высокая теория / Ч. Миллс // Американская социологическая мысль; под ред. В.И. Добренкова. М.: Изд-во МУБиУ, 1996. С. 145.
31. Парсонс Т. Система современных обществ / Т. Парсонс; пер. с англ. Л.А. Седова и А.Д. Ковалева; под ред. М.С. Ковалевой. М.: Аспект Пресс, 1998. С. 15-17.
32. Сорокин П. Явление взаимодействия как коллективное единство / П. Сорокин // Система социологии: в 2 т. М.: Наука, 1993. Т. 2. С. 12-20.
33. Тернер Д. Аналитическое теоретизирование. Процессы интеграции / Д. Тернер // Теоретическая социология: антология: в 2 ч. / пер. с англ., фр., нем., ит.; сост. и общ. ред. С.П. Баньковской. М.: Книжный дом «Университет», 2002. Ч. 2. С. 237.
34. Ионин Л. Диффузные формы социальности (к антропологии культуры) / Л. Ионин // Социологические чтения. М., 1997. Вып. 2. С. 50-89.
35. Радаев В. Социальная стратификация / В. Радаев, О. Шкаратан. М.: Аспект Пресс, 1995. 318 с.
36. Козлова Т.З. Проблема солидарности в трех социологических традициях // Социологические исследования. 1997. № 5. С. 116-119.
37. Официальный сайт Совета Европы // [http://www.echr.ru/coe/activity/800\\_europeans\\_11.htm](http://www.echr.ru/coe/activity/800_europeans_11.htm)
38. Горяинов В.П. Групповая солидарность и ценностные ориентации // Социологические исследования. 1997. № 3. С. 60-67.
39. Татарко А.Н. Культурно-психологические особенности социального капитала этнических групп России / А.Н. Татарко // Психологический журнал. 2009. Т. 30. № 2. С. 67-80.

**Алешина Марина Владимировна** – кандидат педагогических наук, соискатель кафедры «Социология, социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Marina V. Aleshina** – Ph. D., Doctoral Candidate  
Department of Sociology, Social Anthropology and Social Work  
Gagarin Saratov State Technical University

**Н.В. Барабошина**

## **ТРАНСФОРМАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ХРОНОТОПА МАЛОГО ГОРОДА**

*Определяются методологические и инструментальные возможности понятия «хронотоп», разрабатывается также родственное понятие «хронотоп малого города». Определяются возможности использования понятия «хронотоп малого города» для оптимизации культурной политики и проектирования малого города.*

Хронотоп, хронотоп малого города, время культуры, пространство культуры

**N.V. Baraboshina**

## **TRANSFORMATIONAL POSSIBILITIES OF SMALL TOWN CHRONOTOP**

*The article deals with the problem of methodological and technological potential of the «chronotop» concept. The author develops the related concept «the chronotop of a small town» and considers the possibility of its application intended to optimize the cultural policy and designing a small town.*

Chronotop, the chronotop of a small town, culture time, the space of culture

Современная социокультурная ситуация характеризуется быстрым и противоречивым изменением пространственно-временных координат бытия человека. Человек практически не мыслит себя вне города и город отражает, как в зеркале, лицо современного обывателя. Город, ставший в XX веке прибежищем человека, стремится трансформироваться в мегаполис с его футуристическими пейзажами, растущими в горизонтальной и вертикальной проекциях. Время выполняет роль катализатора, фермента ускоряющего культурную динамику, меняющего ценность времени отдельного человека в городе и всего городского сообщества в целом. На сегодняшний день прирост таких динамично развивающихся городов в России осуществляется в основном за счет мегаполисов. Большинство малых городов остаются вне этих трансформаций. И несмотря на то, что существуют некоторые счастливые примеры «обретения себя» такими городами, как Великий Устюг или Мышкин, это лишь подчеркивает исключительность данных проектов на общем фоне кризиса малых городов в России.

Понятие «малый город» относительно недавно определено современной наукой. Оно зародилось в начале XX столетия, одновременно с процессом интенсивной урбанизации на пространстве России, вызванной сложными процессами модернизации Российского государства.

Основным критерием деления городов на небольшие, малые, средние, большие и крупные до сих пор считается численность населения. Город – это поселение с численностью населения более чем 20 тысяч горожан. Малые и средние города (с населением до 100 тыс. человек) составляют две трети городов России и в зоне их влияния проживают 42 миллиона человек. По итогам переписи 2010 года 155 городов относятся к средним (население от 50 до 100 тыс. человек), 781 город – к малым (население менее 50 тыс. человек) [1].

Малые города России являются административными центрами сельскохозяйственных, промышленных районов или осваиваемых территорий. Малые и средние города играют роль своеобразных столиц сельских районов и даже целых регионов. Они – своего рода сосредоточие жизни, «опорные точки» своих территорий, место расположения промышленных предприятий, транспортно-распределительные узлы, научные центры и зачастую единственные очаги культуры и образования. У каждого города свой неповторимый уклад жизни, свой облик, свой силуэт, образ, оригинальная мысль и память. Малый город это своеобразный культурный феномен, по-разному раскрывающий свою суть в разные исторические эпохи.

В исследовании Ж.Б. Балдандоржиева малый город определен как городское поселение с численностью населения до 50 тысяч с законодательно закрепленным и присвоенным статусом «город», имеющее материальное, нематериальное, природное и социокультурное наследие, проявляющееся в образе жизни, параметрах поведения, архитектуре города, сознании горожанина, создаваемое город-

ским сообществом, транслируемое культурной памятью, историко-культурными традициями, обычаями, сохраняемое коллективными способами жизнедеятельности [2].

На наш взгляд, вышеперечисленные характеристики малого города необходимо дополнить специфическими культурными пространственно-временными координатами малых городов: типом пространственной организации города, особым типом пространственных отношений, городских границ, культурной динамики, ритма, скорости и темпа развертывания социокультурных процессов в малом городе.

Из мира «вещей второй природы» именно малые города в большей степени, обладая особой пространственной архитектурой, меняющейся в процессе исторического развития, способны определить культурно значимые характеристики развития человека, ориентиры культурной практики человека. «Малый город» – это, прежде всего не формальное, юридическое (с точки зрения численности населения, наличия статуса и т.д.), а культурологическое понятие (феномен), в котором воплощаются определённая пространственная организованность и изменчивость бытия человека.

Проблема малых российских городов во многом определяется тем, что города России исторически не закрепили в своем пространстве опорных структур для развития современных экономических отношений. Широко известно, что российская промышленность возникла при усадьбе и в селе, а свое проникновение в город осуществила посредством формирования заводской слободы при промышленных или транспортных предприятиях.

И.А. Ильин отмечал, что основное чувство, которое было присуще русскому народу, это чувство незащитности в условиях «отовсюду открытой и лишь условно делимой равнины», где не было ограждающих рубежей. Малые города России в первую очередь были призваны перегородить это «проходной двор» [3]. Поэтому города России возникают не как пространства экономические, основанные на корпоративном характере торгово-ремесленного населения, а как территории политико-административного центра [4].

В.Л. Глазычев, говоря о тотальной «слободизации» поселений, отмечает, что между «городом» как некой предметно-пространственной формой и приличествующим ей набором внешних атрибутов и городом как сообществом людей, связанных именно фактом совместного бытия, не делалось различия, слободе придавалась только «форма города» [5].

В XX веке эти города пережили ломку своего хронотопа, пытаясь подстроиться под тренды эпохи ускоренной индустриализации и урбанизации. Их военно-оборонительная функция стала неактуальной в условиях постоянных территориальных приращений, административная система тоже претерпевала реорганизацию, актуальность в этих условиях удалось сохранить городам-центрам промышленного производства и городам-транспортным узлам. Пространство остальных городов было кардинально «перекроено», что повлекло за собой смену «смысла» города, зафиксированного его хронотопом.

В современных условиях крупные промышленные предприятия, которые в большинстве малых городов переживают не лучшие дни, перестают определять пространственные и временные координаты города. Границы городского пространства размываются, город теряет в сознании обывателя всякую ценность. Доминантами пространства города в лучшем случае становятся торговые центры, где горожанин потребляет товары и услуги, чтобы обрести некое подобие «смысла» быть горожанином. Эту особенность социокультурного восприятия города как торгового центра прослеживает Ж. Бодрийяр, отмечая, что гипермаркет служит пространством-временем «операционной симуляции социальной жизни» [6].

Жизнь в малом городе превращается в бытование. Горожанин ощущает себя провинциалом, для которого городская жизнь – это ощущение своей ущербности по сравнению с насыщенной впечатлениями жизнью жителя мегаполиса. Появляется новый тип обывателя – мещанина XXI века, обобщающего новую модель сотового телефона, сюжет сериала, героев ток-шоу. Его жизнь задана стагнационным хронотопом, черты которого точно описал М. Бахтин в хронотопе провинциального городишки еще в начале XX в. «Такой городок – место циклического бытового времени. Здесь нет событий, а есть только повторяющиеся «бытования». Время лишено здесь поступательного исторического хода, оно движется по узким кругам: круг дня, круг недели, круг месяца, круг всей жизни. Люди в этом времени едят, пьют, спят, имеют жен, любовниц, мелко интригуют, сидят в своих лавочках или конторах, играют в карты, сплетничают. Это обыденно-жизненное циклическое бытовое время. Оно знакомо в разных вариациях и по Гоголю, и по Тургеневу, по Глебу Успенскому, Щедрину, Чехову. Приметы этого времени просты, грубо материальны, крепко срослись с бытовыми локальностями: с домиками и комнатами городка, сонными улицами, пылью и мухами, клубами, биль-

ярдными и проч. Время здесь бессобытийно и потому кажется почти остановившимся. Здесь не происходит ни «встречи», «ни разлуки». Это густое, липкое, ползущее в пространстве время» [7].

Такой город, как и человек в этом городе, не стремится экспериментировать, он не желает меняться, ориентируясь в лучшем случае на прошлое, а то и вовсе утопая в настоящем – бытовании. Такой город не способен к саморазвитию, не может генерировать новое, не желает строить планы. Горожане пассивны и неспособны к самоуправлению, проявлению гражданственности, инициативности, предпринимательской активности. Это неразборчивые потребители товаров и скромного набора услуг. Теории рационального выбора не для них. Для них важна позиция или ранг в социальной иерархии, но отсутствует способность задать ту систему горизонтальных связей, которая необходима для формирования подлинной гражданской культуры. Они пассивно подчиняются сложившейся системе власти, основанной на связях и близком родстве.

Важной задачей в этих условиях становится формирование нового типа малого города с особой гражданской и экономической культурой. Такой город не боится конкурировать за счет финансово успешных граждан (среднего класса), самостоятельно привлеченных инвестиций, динамично развивающейся системы взаимовыгодных контактов между городом и прилегающими районами. Он смело смотрит в будущее, не страшится стремительного развития своего «тела» (пространства улиц, торговых центров, промышленных и офисных помещений) и своей «души» (рекреационного пространства – спортивных и культурных площадок). Эти изменения будут способствовать развитию необходимой автономии в рамках общего пространства страны, необходимой свободы для экспериментов.

Задать такой вектор развития малого города возможно через координаты пространства и времени, объединенные в инновационном хронотопе, который является «движущей силой», выступает своеобразным механизмом, позволяющим не только задать координаты времени и пространства города, но и изменить самого горожанина. Практика западных городов демонстрирует удачные проекты реконструкции городских пространств. «Городское инсценирование», «драматургия города», «городской маркетинг», «городская сцена» – эти понятия прочно легли в основу городского управления и развития как экономической, так гражданской культуры города [8].

Важно отметить, что малый город кроме реконструкции экономического пространства должен ощутить на себе трансформации иного рода – создать пространство для самореализации различных социальных групп и тем самым предложить этой группе площадку для динамичного развития, расширить сугубо эксплуатационное пространство магазинов, офисов, предприятий за счет креативного пространства студий, институтов, театров, музеев. Федеральный президент Германии (1999-2004 гг.) Йоханнес Рау отмечал, что «рынок как принцип организации экономики необходим, однако рынок слеп в плане ценностей. Если развитие представлений о человеке вы связываете с соревнованием и конкуренцией, то нечего удивляться, если однажды не только молодое поколение будет знать, прежде всего, лишь то, что такое цена, и не будет знать никаких других ценностей. Мы не можем деградировать до уровня общества дивидендов» [8]. Иными словами, развитие экономической составляющей хронотопа города должно подкрепляться социокультурными трансформациями.

Перед современным малым городом стоит перспектива создания креативного городского пространства, где творчество и самореализация человека становятся основой всего. В креативном городском пространстве создаются условия для самовыражения людей, появляются возможности на основе этого создавать производства.

Креативный город – это город, сумевший преобразовать свой хронотоп в соответствии ускоренными темпами модернизации и глобализации – перестроить городской ландшафт в соответствии с новыми задачами экологии, качества жизни; городскую среду в соответствии с современными моделями коммуникации. Сами городские поселения будут все больше ориентироваться на креативный, интеллектуальный класс, остро конкурируя между собой за самых талантливых людей.

Основы формирования креативного города исследователи видят в формировании публичного пространства, так называемого *third place*. По аналогии, «первое место» – это жилье, «второе» – работа. А вот «третье место» является одновременно и территорией общения, и зоной отдыха, и местом работы.

В мегаполисах доминирование получает публичная сфера. Публичная жизнь разворачивается в цехе промышленного предприятия, офисе коммерческой фирмы, школьных и вузовских аудиториях, кабинетах и конференц-залах учреждений государственной и муниципальной власти, на улицах, в магазинах, общественном транспорте. Преобладают публичные, приобретенные динамические статусы и размытые социальные роли. Институты публичной жизни меняются более динамично, нежели институты жизни частной и придают дополнительную динамику социальному пространству. Основным контрапунктом, организующим городскую среду, становится офис – рабочее место [9].



В «малом городе» по-прежнему преобладает сфера частной жизни, очагом которой остается дом, квартира. Ценность «дома» для человека провинции очень высока. Дом, а не место работы, определяет успешность жизни молодых.

Наблюдается экспансия правил частной жизни в публичную сферу. Наличие связей, знакомств определяет место молодого человека, закрепляя предписанные статусы «успешного», «активного», «целеустремленного» человека. Профессиональный уровень теряет свое значение. Оценка деятельности сотрудника предприятия зависит от личного расположения начальства, а не от его профессиональных навыков. Меняет свое значение и институт образования – обучение в вузе – это не способ открыть для себя новые горизонты в плане самосовершенствования, а еще один способ поддержки и «оправдания доверия» «семьи», «домашнего предприятия». В таких условиях горожанин практически гарантированно со временем превращается в обывателя – человека, лишённого общественного кругозора и личной стратегии развития, живущего только мелкими интересами и озадаченного выживанием в сегодняшнем дне.

Если попытаться проанализировать публичное пространство, которое сложилось в малых городах, то понятие «thirdplace» в нем практически отсутствует. Молодые жители города затрудняются с определением самого понятия досуга, в лучшем случае говоря о «просиживании» свободного времени в социальных сетях или за просмотром фильмов. Или заменяют его традиционным «пройтись с друзьями», «погулять», «пообщаться». Местом такого общения является центральный парк, аллея. Причем, в данном случае воспроизводится традиционный сельский уклад – променады, известные еще со времен классиков.

А. Быстрицкий отмечает, что основным культурным ресурсом современного города является коммуникация [10].

Городская коммуникация – это интегративный показатель развития городской цивилизации. Одно из последних исследований города Тулигановой Е.В. определяет пространство города как систему информационно-коммуникативных оснований социальной деятельности, воплощенных в разнообразных знаково-символических продуктах социокультурной практики, локализованных в определенных территориальных границах [11].

Города возникают на определённой стадии развития коммуникационных возможностей людей, фактически закрепляя сложившийся опыт взаимодействия. Город, структурируя каналы коммуникации между людьми, задает определённый хронотоп (пространство, площадки для взаимодействия) и время взаимодействия, а через него всю жизнь – поведение, ритмы работы и отдыха горожан. Неврозы, расстройства, нервные срывы и депрессии можно объяснить следствием неструктурированности пространства и времени, в котором живет человек.

В этом плане горожанин малого города должен быть защищен от вышеперечисленных проблем в силу более четкой и понятной коммуникации, в свою очередь определенной более органической структурой и цикличностью времени. «Времена года, погода, естественное поведение обитающих рядом и вместе с ним задают естественный строй времени, и если сжиться с ним, то и проблем почти не возникает. Однако такой ритм, хотя по-своему органичен, хорош и привлекателен, но не всегда позволяет человеку совершать волевые интенсивные усилия для самоустроения жизни, задать новый темп своей деятельности, сколь-нибудь независимый от окружающей природы» [12].

Вся система общественных связей и городских мероприятий должна быть ориентирована на поддержание старых и создание новых площадок коммуникации. Город, опираясь на прошлое, должен обрести себя в будущем с помощью общественных инициатив, новых производственных проектов, позитивной рекламы.

Изучать феномен города прошлого в его единстве с городом современным возможно только в его хронотопическом ключе (единстве модусов времени и пространств бытия). Бахтин называл это качество хронотопа «внеаходимостью», которая дает возможность исследователю возможность «нового видения», недоступного тем, кто ощущал феномен города в прошлом, и тем, кто является городским обывателем сейчас. Этот метод открывает новые перспективы описания образа города и конструирования положительного имиджа города, создания городской сцены и преобразования городского ландшафта [13].

Таким образом, понятие «хронотоп» позволяет рационализировать интерпретацию пространства и времени как проект и процесс проектирования мировоззрения, данное и заданное, ставшее и становление, объективное и субъективное. Хронотоп является одной из универсальных моделей, позволяющих постичь внутреннюю самоорганизацию культуры и ее воздействие на людей. Выступая выражением всеобщего, пространство и время непрерывно формируют смыслы культуры и их задачу человеку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Передерий А.А. Классификация и типология городов / А.А. Передерий // Научно-техническая конференция МГТУ. Секция «Актуальные проблемы менеджмента, маркетинга, экономики и права». М.: МГТУ, 2000. С. 112-119. Режим доступа: <http://www.mstu.edu.ru>
2. Балдандоржиев Ж.Б. Малые города: типология и классификация в контексте культурного наследия (на примере малых городов Восточного Забайкалья) / Ж.Б. Балдандоржиев // Гуманитарный вектор. Чита: ЗабГГПУ, 2011. № 3 (27). С. 112-119.
3. Ильин И.А. Россия есть живой организм / И.А. Ильин // О русской идее // Русская идея. М.: Республика, 1992. С. 429-443.
4. Вебер М. Избранные произведения / М. Вебер. М.: Прогресс, 1990. 808 с.
5. Глазычев В.Л. Выслобождение городов. – Режим доступа: [http://www.glazychev.ru/habitations&cities/1993\\_vyslob\\_gorodov.htm](http://www.glazychev.ru/habitations&cities/1993_vyslob_gorodov.htm), загл. с экрана.
6. Бодрийяр Ж. Общество потребления. Его мифы и структуры / Ж. Бодрийяр. М.: Культурная революция, Республика, 2006. 269 с.
7. Бахтин М.М. Формы времени и хронотопа в романе / М.М. Бахтин // Эпос и роман. СПб.: Азбука, 2000. 300 с.
8. Бурлина Е.Я. «В поисках ускользающих городов»: европейский город как учебник / Е.Я. Бурлина // Межкультурная коммуникация. Толерантность. Самара: Самар. кн. изд., 2007. 304 с.
9. Лейбович О.Л. Большой город в постсоветском пространстве / О.Л. Лейбович, А.Н. Кабацков, Н.В. Шушкова // Мир России. 2004. № 1. С. 91-105.
10. Быстрицкий А. Urbsetorbis / А. Быстрицкий // Новый мир. 1994. № 12. С. 167-180.
11. Тулиганова И.В. Социокультурное пространство современного города: автореф. дис. ... канд. филос. наук / И.В. Тулиганова. Саратов, 2009. 166 с. Режим доступа: <http://www.dissercat.com>
12. Быстрицкий А. Urbsetorbis / А. Быстрицкий // Новый мир. 1994. № 12. С. 167-180.
13. Аксенов А.В. Внеаходимость и диалог (Философско-эстетическое наследие М.М. Бахтина в свете проблем рецептивной эстетики) / А.В. Аксенов // Диалог. Карнавал. Хронотоп. 1999. № 1. С. 5-40.

**Барабошина Наталья Владимировна** –  
соискатель кафедры «Философия  
и культурология» Самарского государственного  
медицинского университета

**Nataliya V. Baraboshina** –  
Postgraduate  
Department of Philosophy and Cultural Studies  
Samara State Medical University

*Статья поступила в редакцию 15.05.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 116

**Р.В. Воробьев**

### **ИСТОРИКО-ИНТЕНЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФЕНОМЕНА ЗДОРОВЬЯ**

*Проводится историко-интенциональный (в смысле Э. Гуссерля) анализ феномена здоровья, исследуется укорененность представлений о сущности здоровья в великих религиозных и философских системах, определяются феноменологические «пласты смысла» здоровья.*

Здоровье, феноменология, историко-интенциональный анализ, сущность, «пласты смысла»

**R.V. Vorobyev**

### **A HISTORICAL AND INTENTIONAL ANALYSIS OF THE HEALTH PHENOMENON**

*A historical and intentional analysis (according to E. Husserl) of the health phenomenon is presented. The roots of the key notions referring the essence of health in great religious and philosophical systems are investigated. Phenomenological «meanings strata» of health are defined.*

Health, phenomenology, historical-intentional analysis, essence, «strata of meanings»

Самыми значимыми объектами философского осмысления являются природа, общество и человек. Здоровье же является универсальным феноменом, определяющим возможность полноценного существования всего, что наличествует в мире и способно к активному саморазвитию. Не вызывает сомнения, что здоровье является онтологически нетривиальным феноменом, включающим не только материальную, но и ментальную, идеальную составляющие. Именно поэтому ему посвящено значительное число исследований в русле мировых религий и традиционных философских доктрин. Здоровье – и значимая научная категория, которая широко изучается и в частных науках, и на междисциплинарном уровне.

На фоне неоспоримой важности этого феномена парадоксальным кажется тот факт, что философии здоровья до сих пор не существует в качестве самостоятельного философского направления, хотя определенные формальные претензии на это время от времени появляются. Практически любое современное социально-гуманитарное исследование здоровья чаще всего сводится к неопределенным декларациям и призывам, уступающим по своей значимости действительно важным естественным результатам. Последние, однако, несмотря на свою практическую значимость, не обладают необходимой универсальностью представлений, поскольку говорят о здоровье в узком смысле.

Философский же анализ этого феномена требует представления о здоровье в широком смысле, и не простого обобщения уже известного, а принципиально нового знания, выяснения существенных свойств здоровья, его сущности, смысла, предельных оснований, истоков, законов существования и развития. Вот почему поиск возможных принципов исследования феномена здоровья, позволяющих достичь действительно значимых результатов, является чрезвычайно важной задачей.

Однако именно тут появляются значительные эпистемологические и методологические проблемы. В самом деле, сам объект исследования – здоровье в широком смысле является сложным и многоуровневым феноменом, зависящим от огромного числа внешних и внутренних факторов и условий, и это требует особой методологии, способной справиться с этой сложностью. Мы полагаем, что при анализе феномена здоровья следует ступить на путь философского смыслообразования интеллектуальной интуиции, знаменитый феноменологический путь эйдетических гуссерлианских процедур.

Известно, что Э. Гуссерль определил и описал многие феноменологические процедуры, такие, как трансцендентальная редукция и эйдетическая вариация, чрезвычайно эффективные при прояснении смыслов значимых феноменов, позволяющие выяснять сущности, давать определения, получать онтологически значимые результаты<sup>1</sup>. В своих поздних работах Гуссерль создал историко-интенциональный анализ и обозначил так называемую седиментационную смысловую историю, значительно отличающуюся от традиционной истории науки<sup>2</sup>. В отличие от последней, смысловая история имеет не исторические, а эпистемологические и феноменологические цели и может определить этапы становления представлений об исследуемом феномене, так называемые «слои смысла». Обозначая конституирование философии здоровья как долгосрочный исследовательский проект, мы предполагаем использование всех радикальных феноменологических процедур, но начнем именно с историко-интенционального анализа. Историко-интенциональный анализ эволюции представлений о здоровье в западной и восточной философских традициях позволяет выделить самые глубокие пласты осмысления этого феномена, рационально или интуитивно постигаемые и выражаемые в виде великих концептов и парадигм. Поиск пластов смыслов здоровья необходим как предварительный этап авторского осмысления здоровья в широком смысле.

Самые древние письменные упоминания о здоровье содержатся в египетских рукописях времен фараона Эхнатона (XV в. до н.э.), где содержатся описания некоторых телесных и душевных заболеваний<sup>3</sup>. Именно с этого времени возникает понимание здоровья как противоположности болезни и появляются определения здоровья как отсутствие последней. Такое представление и составляет самый старый и популярный до нынешних дней пласт смыслов здоровья: «здоровье – отсутствие болезни». Появившийся в Древнем Египте символ медицины – змея, обвивающая чашу, двойственен и обозначает связь здоровья с двумя важнейшими феноменами: жизнью и смертью.

Традиционными являются и космоцентрические представления о здоровье, основанные на понимании глубокой связи характеристик человеческого бытия и бытия мира. Именно так, как пра-

<sup>1</sup> Гуссерль Э. Логические исследования. Т. I. Прологомены к чистой логике / пер. с нем. Э. А. Бернштейна под ред. С. Л. Франка. Новая редакция Р. А. Громова. М.: Академический проект, 2011; Гуссерль Э. Кризис европейских наук и трансцендентальная феноменология // Вопросы философии. 1992. № 7. С. 136-176; Гуссерль Э. Кризис европейского человечества и философия // Вопросы философии. 1986. № 3. С. 101-116.

<sup>2</sup> Штрекер Э. Гуссерлевская идея феноменологии как обосновывающей теории науки // Современная философия науки. М., 1996. С. 376-391.

<sup>3</sup> Черновитов Е.В. Социальная медицина. М., 2000. С. 8 (304).

вильное отношение человека и мира, понималось здоровье в классических текстах китайских философов<sup>1</sup>, Ветхом Завете, Талмуде, которые содержат и этические нормы, обеспечивающие сохранение физического, социального, психологического и духовного здоровья человека; и методы совершенствования человеческого тела и духа; догматы о том, что основание личного и общественного здоровья лежит в благих поступках, в принесении общественной пользы и соблюдении общественного порядка. В буддийской философии, например, здоровье определяется как согласие с самим собой и гармония с миром, непричинение зла другим. В конфуцианском мировоззрении<sup>2</sup> зло и болезнь рассматриваются как проявление мирового дисбаланса. В подобных представлениях болезнь – это хаос и дисбаланс, дисгармония основных элементов мира и жизни, здоровье – гармония, связанная с мировым порядком, с естественным ходом вещей. Понимание этого позволяет обнажить второй, на наш взгляд, самый значительный пласт представлений о сущности здоровья как о гармонии, порядке, балансе.

Мыслители Древнего Востока, Китая, Индии, Иудеи, осмысливая различные проявления здоровья, выделяли природные, духовные, социальные и культурные его основания, постулируя приоритет духовного здоровья, предполагающего и ощущение единства мира, и принятие предопределенности жизни, и личное совершенствование. В восточных онтологиях здоровье рассматривается как необходимое условие полноты бытия. Тот, кто следует Дао, тот, кто исполняет библейские заповеди, вечен<sup>3</sup>, и тогда существует стратегия вечной жизни, а значит, и достижения здоровья – следовать Дао или Божественному Закону, то есть мировой гармонии. Последней же подчиняются весь мир, дух и материя<sup>4</sup>, и тогда здоровым или нездоровым может быть абсолютно все, и можно говорить о здоровье чего угодно, любой части мира, любого явления, любой вещи. Возникает универсальный, синтетический взгляд на здоровье, и ему следовало бы поучиться современным наукам.

Единство микрокосма и макрокосма, человека и Мира означает возможность человеческого здоровья только в здоровом обществе и в здоровой природе. И такое мировоззрение подтверждается созданием практик оздоровления, как духовного, так и телесного, позволяющих достичь положительных, здоровых качеств на основе значимых закономерностей (например, «цзы-жань», «у-вэй», кашрут). По сути, мы имеем дело с методиками достижения здоровья, технологиями здоровья. Природный, гармоничный человек всегда здоров, и здоровье его достигается управлением ментальной энергией, направленной на гармонизацию самого человека, долголетие и бессмертие.

Осмысление здоровья связано с фундаментальными философскими категориями «природа» и «человек». В IV-V веках до н.э. представления о здоровье активно развиваются в греческой философии; в пифагореизме, впервые представившем не только мир, но и человека не просто гармоничным, а «исчислимо гармоничным»; в учении Сократа; в трудах Платона и Аристотеля<sup>5</sup>. В греческой философии человек рассматривается как монада космической жизни, здоровье – как гармония с Космосом, а способы его достижения видятся в стремлении к порядку, соединению с Логосом. Болезнь же рассматривалась как нарушение порядка (Гераклит, Пифагор, Теофраст, Аристотель, Гиппократ). Так, у Гераклита: «Болезнь – это преобладание каждого из элементов... Но душа, соединяющая их в гармонию, – нечто божественное. Здоровье – первично, природа лучший врач»<sup>6</sup>. Сократу принадлежит идея о здоровье как о мере полноты жизни, сформулированная в виде его знаменитого афоризма о том, что здоровье – это не все, но все без здоровья – ничто. И осмысление здоровья как необходимого условия полноты жизни – третий пласт традиционных представлений о сущности здоровья.

Именно в греческой философии впервые в европейской традиции обнаруживается и четвертый пласт понимания здоровья как блага, причем как блага разумного и осмысленного. Так, Аристотель говорит о наличии у человека разумной души, которая руководит его поступками, и ведет либо к здоровью, либо к болезни. Разум ведет к умеренности, и образ жизни древних греков именно умерен, здоров (ограничения в еде и половой жизни, ежедневные физические упражнения, ежедневные умственные нагрузки, воздержание от употребления алкоголя, танцы и т.д.). Платон считал, что здоровое государство – это такое, в котором все люди здоровы, и отмечал его роль в формировании здоровья каждого. Теофраст, анализируя болезни, дал классификацию болезненных отклонений и патологий<sup>7</sup>. А в своем труде «Нравственные характеры» обсуждает связь нравственности и здоровья, безнравственности и патологий.

<sup>1</sup> Шуцкий Ю.К. Китайская классическая книга перемен: Цузин. М., 1993.

<sup>2</sup> Антология мировой философии: в 4 т. Т. 1. М., 1969-1972.

<sup>3</sup> Антология мировой философии. Т. 1. Ч. 1. М., 1969. С. 186-187.

<sup>4</sup> Стулова Э.С. Даоская практика достижения бессмертия // Лу Куань Юй. Даоская йога, алхимия и бессмертие. СПб., 1993. С. 312-313.

<sup>5</sup> Димов В.М. Философия и социология здоровья. Алматы, 1998. С. 51.

<sup>6</sup> Фрагменты ранних греческих философов. М., Ч. 1. С. 176.

<sup>7</sup> Там же. С. 10.

В римско-эллинистический период высшим благом становится признание счастья и удовольствия во всех сущностных проявлениях: максимальном духовном и физическом развитии, учености, безмятежности, моральном освобождении от страха смерти. И это представление лежит в основе следующего пласта смыслов здоровья: понимание его как счастье и удовольствия существования.

Развитие мировых религий, в первую очередь, христианства и ислама, привело к представлениям о здоровье как о единении человека с Богом. В средневековой теологии прослеживается следующий взгляд на человека и смысл его существования (Ф. Аквинский<sup>1</sup>, А. Кентерберийский<sup>2</sup>). Человек – особое творение Бога, а не природы, в котором духовное начало преобладает над телесным. Лишь Фома Аквинский слегка ослабляет тезис о вторичности телесного: тело есть необходимое дополнение души, а не ее «оковы»<sup>3</sup>. В близкой к христианской традиции классической европейской философии человек приобретает независимость от Космоса. «Христианство освободило человека от власти космической бесконечности, – писал Н. Бердяев, – в которую он был погружен в древнем мире, от власти духов и демонов природы. Оно поставило его на ноги, укрепило его, поставило его в зависимость от Бога, а не от природы»<sup>4</sup>. И тогда, по словам П. А. Флоренского, «духовное здоровье – в духовном равновесии»<sup>5</sup>.

Свойственное христианской традиции заметное преобладание духовного над телесным не могло не вызвать некоторого пренебрежения ко всему чувственному, плотскому. Считая тело греховным, христианство настаивало на развитии и приоритете духа над телом. Болезнь в этой концепции рассматривалась как испытание, Божественное наказание, этап духовного становления<sup>6</sup>.

Эпоха Возрождения существенно изменила отношение философии к человеку, и в средневековой триаде «Бог-человек-природа» центральным становится человек. Человек – творец собственного счастья, он «божественно красив» (Ф. Петрарка, Дж. Боккаччо, П. Мирандола)<sup>7</sup>. Это смещение акцентов приводит к тому, что в медицине начинает осознаваться значимость изучения строения человеческого тела (Везалий). Э. Роттердамский, призывая философию «сойти с небес на землю» и заняться основными вопросами естественной жизни людей, выделил необходимые для жизни и здоровья человека качества: свободу, миролюбие, воздержанность, простоту, образованность, здравый смысл, – и назвал их антиподы: фанатизм, невежество, лицемерие, насилие и чрезмерную интеллектуальность<sup>8</sup>.

Философия Нового времени, начиная с Ф. Бэкона, возродила античные представления: лишь познавая природу и пытаясь обрести гармонию с ней, человек может быть здоровым. Декарт постулирует дуализм физического и психического, отмечая, что только в человеке материальное и духовное едины, и в этом единстве проявляется человеческая сущность<sup>9</sup>. Декарт пишет о союзе тела и души через чувства, эмоции, и здоровье предстает как единство телесного, чувственного и интеллектуального. И. Кант ввел в философию представления об имманентной связи здорового и нравственного, о нравственном здоровье как необходимом условии человеческого счастья. Гегель представил человека посредником Мирового Духа в творении духовной и материальной культуры, определяя здоровье как сложное взаимодействие этих двух составляющих<sup>10</sup>. Здоровье, по Гегелю, – это «пропорциональность между самостью организма и его наличным бытием»<sup>11</sup>.

Неклассическая философия сместила фокус рассмотрения здоровья в сторону его отсутствия в жизни человека и общества, в сторону болезней, патологий, отсутствия здоровой нормы. Но и философия жизни, и психоанализ, и экзистенциализм, и постмодернизм, уходя от универсальных представлений, констатируя наличие тревожного, болезненного и больного в человеческом бытии, поддерживали представление об экзистенциальной ценности здоровья как идеале даже нездорового существования.

Проведенный нами краткий историко-интенциональный анализ феномена здоровья, позволяет выделить самые значительные пласты его смыслов, укорененные в основаниях великих религиозных и философских систем:

- 1) «здоровье – отсутствие болезни»;
- 2) «здоровье – гармония, порядок, баланс»;

<sup>1</sup> Черстон Г.К. Святой Фома Аквинский. Вечный человек. М., 1991. С. 40.

<sup>2</sup> Кентерберийский А. Сочинения о свободном выборе. М., 1995.

<sup>3</sup> Соколов В.В. Средневековая философия: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. М., 2001. С. 279-280.

<sup>4</sup> Бердяев Н. Человек и машина // Вопросы философии. 1989. №2. С. 159.

<sup>5</sup> Флоренский П. А. Сочинения: в 4 т. Т. 3(2). М., 1999. С. 417-418.

<sup>6</sup> Заметим, что в некоторых мистических течениях ислама, в суфизме, например, болезнь рассматривается не как наказание, а как благо, поскольку испытание Господь посылает лишь тому, кого любит больше прочих.

<sup>7</sup> Горфункель А.Х. Философия эпохи Возрождения. М., 1980.

<sup>8</sup> Роттердамский Э. Философские произведения. М., 1986.

<sup>9</sup> Декарт Р. Страсти души. Соч.: в 2 т. М., 1989. Т.1.

<sup>10</sup> Гегель Г.В.Ф. Работы разных лет: в 2 т. Лекции по истории философии. Т. 1. М., 1972.

<sup>11</sup> Гегель В.Ф. Энциклопедия философских наук: в 2 т. М., 1971. Т. 1. С. 558.

- 3) «здоровье – необходимое условие полноты жизни»;
- 4) «здоровья – благо»;
- 5) «здоровье – счастье и удовольствие существования»;
- 6) «здоровье – единение человека и Бога».

Мы полагаем, что найденные «пласты смыслов» представляют собой универсальные характеристики здоровья как такового, его существенные свойства, знание которых является необходимым при конституировании здоровья как универсального онтологического феномена.

**Воробьев Роман Викторович** –  
аспирант кафедры «Философия и методология  
науки» Саратовского государственного  
университета имени Н.Г. Чернышевского

**Roman V. Vorobyev** –  
Postgraduate  
Department of Philosophy  
and Scientific Method  
Chernyshevsky Saratov State University

*Статья поступила в редакцию 16.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 316.347

**И.Э. Захарян**

### **СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ КАК КОНЦЕПЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ДИАСПОРЫ**

*В рамках различных подходов к трактовке концепции «социальный капитал» рассматриваются аспекты существования современной диаспоры, в том числе проблемы, обусловленные адаптивным процессом, сохранение этнокультуры, воспроизводство и гибридизация национальной идентичности.*

Социальный капитал, диаспора, мигранты, сети связей

**I.E. Zakharyan**

### **SOCIAL CAPITAL AS A CONCEPT FOR THE STUDY OF MODERN DIASPORA**

*Presents the framework of different approaches to treating the concept of «social capital», including the aspects of modern diaspora existence, and the problems caused by an adaptive process, preservation of ethnic culture, reproduction and hybridization of the national identity.*

Social capital, diaspora, migrants, ethnic network

Исследование миграционных процессов, их влияния на демографию населения, этнический состав приобретают всё большую значимость. Одним из аспектов данной проблематики является существование этнических сообществ в едином социокультурном пространстве, адаптационные и интеграционные практики. В связи с многообразием сообществ, представленных мигрантами из различных регионов, возникает сложность в их определении, и, следовательно, в выборе концепции для их изучения.

Одним из наиболее устойчивых терминов, применимых для характеристики этнического общества, является диаспора. Однако существует несколько трактовок данного понятия. Слово «диаспора» произошло от греческого *diaspeirein* – «рассеивать(ся), рассыпать, раздавать, расточать». Термин, описывая изначально расселение евреев вне Палестины, со временем стал использоваться применительно к другим национальным или религиозным группам, проживающим по тем или иным причинам вне страны происхождения. Одним из теоретиков диаспоры является профессор факультета политических наук Иерусалимского университета Г. Шеффер, обобщивший предыдущие работы, ориентированные на изучение конкретных диаспор, и сформулировавший «более развернутое все-

объемлющее описание»<sup>1</sup>. По его мнению, диаспоры образовались либо «в результате добровольной миграции, либо изгнания с родины после того, как переселенцы принимают решение осесть в одной или нескольких странах»<sup>2</sup>.

Другой подход к трактовке понятия «диаспора» предлагают У. Сафран<sup>3</sup>, Х. Тололян<sup>4</sup>, которые выделяют признаки сообщества, наличие которых может определить его именно как диаспору. Теоретические выводы указанных авторов стали основой современных подходов к определению термина и их дальнейшего развития в исследовательской литературе. Классификация этнодифференцирующих терминов дополняется такими авторами, как Р. Кинг и А. Христу<sup>5</sup>, К. Пэригаард<sup>6</sup>, Ж. Тошченко и Т. Чаптыкова<sup>7</sup>.

Некоторые работы направлены на обобщение уже существующих дефиниций, постановку проблемы необходимости дальнейшего изучения понятия (к примеру, у А. Милитарева<sup>8</sup>, В. Дятлова<sup>9</sup>). Анализируя ранние трактовки, В. Тишков приходит к выводу, что они не «делают различий между иммигрантами, экспатриантами, беженцами, гастарбайтерами...»<sup>10</sup>. Различные подходы к установлению значения данной категории как в зарубежном, так и в отечественном исследовательском опыте приводит к выводу о необходимости некоторого их обобщения. Концептуализация термина связана с появлением теорий, направленных на выделение этапов его развития (Т. Файст<sup>11</sup>), классификацию диаспор (М. Бруно<sup>12</sup>).

Множественные подходы к определению термина диаспора подчеркивают его неоднозначность и многогранность, что, с одной стороны, позволяет рассматривать особенности существования современного этнического сообщества, в том числе взаимодействие с представителями принимающего общества, механизмы адаптации, трансляции этнокультуры, проявления гибридной идентичности. С другой – возникает необходимость выбора концепции, которая позволила бы изучить современное этническое общество во всех его аспектах. В качестве такой концепции может выступать социальный капитал.

Являясь изначально «политико-экономическим понятием»<sup>13</sup>, термин капитал стал одним из инструментов для изучения общества, приобретая трактовки, отражающие различные подходы к исследованию социальных проблем. Концепция социального капитала позволяет выявить возможности, которые может предоставить этническая группа в качестве сети связей, и ограничения, связанные с членством в группе, основанным на общей этничности. Связи внутри группы дают возможность решения вопросов благоустройства, занятости через личные знакомства, родственные и земляческие связи. Бурдые определяет социальный капитал как «совокупность реальных или потенциальных ресурсов, связанных с обладанием устойчивой сетью более или менее институционализированных отношений взаимного знакомства и признания – иными словами, с членством в группе»<sup>14</sup>. Группа, коллектив (структура) обеспечивает акторов ресурсами, обуславливающими характер их действия, которые в свою очередь могут повлиять на поведение структуры. Социальный капитал диаспоры приобретает институционализированные формы (община, семья, союзы), которые поддерживают жизнь диаспоры, открывая доступ к ресурсам, обеспечивающим воспроизводство этнокультуры на индивидуальном уровне. С другой стороны, именно индивидуальные действия способствуют дальнейшему существованию сообщества.

Концептуализацию социального капитала продолжил Дж. Коулмен. По его мнению, «функция, определяемая понятием «социальный капитал», представляет собой ценность аспектов социаль-

<sup>1</sup> Шеффер Г. Диаспоры в мировой политике // Диаспоры. 2003. №1. С. 179.

<sup>2</sup> Там же С. 163.

<sup>3</sup> Safran W. *Diasporas in Modern Societies: Myths of Homeland and Return* // *Diaspora*. Vol.1. №1. 1991. P. 83-99.

<sup>4</sup> Tololyan K. 1996: *Rethinking Diaspora(s): Stateless Power in the Transnational Moment*. *Diaspora* 5: 1. P.3-35.

<sup>5</sup> King R., Christou A. *Diaspora, migration and transnationalism: Insights from the study of second-generation 'returnees'* // *Diaspora and Transnationalism. Concepts, Theories and Methods* / Bauböck R., Faist Th. (eds). Amsterdam: Amsterdam University Press. 2010. P. 167-184.

<sup>6</sup> Paerregaard K. *Interrogating diaspora: Power and conflict in Peruvian migration* // *Diaspora and Transnationalism. Concepts, Theories and Methods* / Bauböck R., Faist Th. (eds). Amsterdam: Amsterdam University Press. 2010. P. 91-108

<sup>7</sup> Тошченко Ж.Т., Чаптыкова Т.И. Диаспора как объект социологического исследования // *Социологические исследования*, 1996. № 12. С. 33-42

<sup>8</sup> Милитарев А. О содержании термина «диаспора» (к разработке дефиниции) // *Диаспоры* 1999. № 1. С. 24-33.

<sup>9</sup> Дятлов В. Диаспора: попытка определиться в понятиях // *Диаспоры*. 1999. № 1. С. 8-23.

<sup>10</sup> Тишков В. Диаспора и понятие «родина» // Личный сайт В. Тишкова. URL: [http://www.valerytishkov.ru/cntnt/publikacii3/lekcii2/lekcii/n42\\_diaspor.html](http://www.valerytishkov.ru/cntnt/publikacii3/lekcii2/lekcii/n42_diaspor.html). Обращение к ресурсу 01.06.2011.

<sup>11</sup> Faist Th. *Diaspora and transnationalism: What kind of dance partners* // *Diaspora and Transnationalism. Concepts, Theories and Methods* / Bauböck R., Faist Th. (eds). Amsterdam: Amsterdam University Press. 2010. P. 9-34.

<sup>12</sup> Bruneau M. *Diasporas, transnational spaces and communities* // *Diaspora and Transnationalism. Concepts, Theories and Methods* / Bauböck R., Faist Th. (eds) – Amsterdam: Amsterdam University Press. 2010. P. 35-49.

<sup>13</sup> Радаев В.В. Понятие капитала, формы капиталов и их конвертация // *Общественные науки и современность* 2003. № 2. С. 5.

<sup>14</sup> Бурдые П. *Формы капитала* // *Экономическая социология*. 2002. Т. 3. № 5. С. 66.

ной структуры для акторов как ресурсы, которые они могут использовать для достижения своих целей»<sup>1</sup>. Концепция социального капитала позволяет, беря такие ресурсы и показывая способы их возможного сочетания с другими ресурсами, воспроизвести поведение на различных уровнях системы или различные результаты для индивидов. Так, обладая социальным капиталом, актор использует возможные ресурсы, тем самым воспроизводя действие системы. Актор действует в интересах коллектива благодаря существованию норм, неписаного закона. С этой точки зрения, существование диаспоры напрямую зависит от действия его членов в рамках этнических норм, то есть воспроизводства этнокультуры, ориентации своей деятельности в рамках интересов сообщества, взаимоподдержка, инвестиции.

Идеи Коулмена и Бурдые получили свое развитие в исследованиях более поздних авторов. К взглядам Бурдые близка позиция Дж. Тернера: социальный капитал формируется как объединение индивидов, организованное для решения задач фундаментального характера, связанных с производством, воспроизводством, регулированием и координацией основных потребностей (макроуровень); (б) в качестве корпоративных и категориальных элементов организации человеческого капитала, которые генерируют социальные различия, влияющие на отношение к ним в обществе (мезоуровень), и (в) в качестве социальных связей, форм личного взаимодействия, существующих в корпоративных и категориальных единицах (микроуровень)<sup>2</sup>. Рассматривая диаспору, в её структуре можно также выделить соответствующие уровни существования социального капитала. Так, макроуровень социального капитала воплощается в правовых, властных структурах, характерных для общества в целом, что позволяет диаспоре быть частью социальной системы. На мезоуровне – организации диаспоры, сообщества, семья, влияющие на формирование человеческого капитала её членов. И микроуровень представлен личностным взаимодействием акторов внутри диаспоры и за её пределами.

На каждом уровне социального капитала происходит обмен культурным и социальным опытом, сохранение или утрата элементов этничности. Несмотря на «силу связей» на мезоуровне, позволяющей воспроизводить ежедневно этничность, взаимодействие на микро– и макро–уровнях приводит к смешению культурных практик, образованию качественно новой гибридной идентичности, утрате традиций, системы ценностей сообщества в последующих поколениях. Сохранение этнокультуры у второго поколения мигрантов возможно благодаря следованию ей в рамках института семьи.

Воспроизводство этнокультуры возможно при поддержании определенной степени целостности системы, включающей, в частности, религию, традиционные нормы. С этой точки зрения, «социальный капитал, существующий как нерациональная привычка и берущий начало в таких «иррациональных» феноменах, является неотъемлемым элементом правильного функционирования»<sup>3</sup> диаспоры.

Подчеркнуть неопределенность между пониманием социального капитала как индивидуального ресурса и институционального или общественного пытается Х. Эссер<sup>4</sup>. Так, он выделяет две основные формы социального капитала, каждому из которых присущи три подвиды:

- основанный на личностных отношениях: зависящий от занимаемой актором позиции, доверия между акторами, от обязательств индивида;
- системный капитал: системный контроль, доверие, моральные нормы.

Подобное разделение видов социального капитала позволяет проследить, каким образом формируется капитал внутри диаспоры, от каких факторов зависит характер приобретаемых акторами связей. Кроме того, возможно определение степени вовлеченности членов диаспоры в социальную жизнь, соответствие гражданской культуре, то есть обладание системным капиталом.

Иную трактовку концепции предлагает сетевая теория. С точки зрения М. Грановеттера<sup>5</sup>, даже слабые связи – знакомства – могут стать более продуктивными, чем сильные связи, основанные на долговременном знакомстве. Подобный социальный капитал членов диаспоры – знакомства, обусловленные этнической принадлежностью или родственными отношениями, изначально рассматриваются как ресурс, дающий доступ к экономическим, социокультурным благам. «Сильные» связи обеспечивают мигрантов ощущением своей принадлежности к ней, «чувством идентичности»<sup>6</sup>, сохраняя «целостность» этнической группы, ее «ресурсоспособность».

Благодаря сети связей, в качестве которой можно представить диаспору, действующий субъект получает социальный капитал, который дает определенные знания того, «с кем можно связаться

<sup>1</sup> Коулман Дж. Капитал социальный и человеческий // *Общественные науки и современность*. 2001. № 3. С. 121-139.

<sup>2</sup> Turner J.H. The formation of social capital // *The International Network of the Practices of Fight Against Social Exclusion URL* [www.exclusion.net/images/pdf/778\\_fimod\\_turner.pdf](http://www.exclusion.net/images/pdf/778_fimod_turner.pdf). Обращение к источнику 02.11.2010

<sup>3</sup> Фукуяма Ф. Доверие: социальные добродетели и путь к процветанию М., 2004. С. 530

<sup>4</sup> Esser H. The two meanings of social capital // *The Handbook of Social Capital*. UK: Oxford University Press. 2008. P. 22-50.

<sup>5</sup> Грановеттер М. Сила слабых связей // *Экономическая социология*. 2009. Т. 10. № 4. С. 31-51.

<sup>6</sup> Astone N.M., Nathanson C., Shoen R., Kim Y. Family Demography, Social Theory, and Investment in Social Capital // *Population and Development Review* 25(1). 1999. P. 1-31.



при необходимости поддержки, как и кого подключить для решения проблемы»<sup>1</sup>. Как указывает Р. Барт, данный процесс можно рассмотреть как реакцию на новые, изменяющиеся обстоятельства, адаптивный механизм, реализацию которого облегчает социальный капитал. Можно предположить, что для членов диаспоры подобный источник поддержки является определяющим, поскольку именно личностные связи способствуют первоначальной адаптации мигрантов, то есть решению жилищных проблем, вопросов, связанных с образованием, трудоустройством.

В рамках сетевой теории социальный капитал, с точки зрения Лин, воспринимается как ресурс, который может быть доступен через сети<sup>2</sup>. Степень доступа к ресурсам зависит от «структурных позиций» – положений актора в структуре социальной стратификации; от места актора в сети, которое обладает такими характеристиками, как открытость или закрытость, или наличие мостов-связей; от целей действия (инструментальных – получения выгоды, власти, репутации, или экспрессивных – поддержание сплоченности, солидарности)<sup>3</sup>. Применимо к диаспоре как сети связей, можно сказать, что в зависимости от сети связей, которой обладает актор, от сферы существования этих связей (торговля, политика, образование и т.д.) зависит возможный результат, любой «актор» может обладать различным доступом к ценным ресурсам. В таком случае, диаспорные связи, социальный капитал могут стать ограниченным ресурсом.

Социальные сети, как отмечает В.В. Радаев, формируют объективированную структурную основу социального капитала, имеют тенденцию к относительной замкнутости, в результате чего складывается институциональная основа социального капитала – принадлежность к определенному социальному кругу, или членство в группе<sup>4</sup>. Подобное членство, в частности принадлежность к диаспоре, с одной стороны, обусловлено обладанием агентами социальным капиталом, с другой – диаспора путем взаимодействия её членов воспроизводит социальный капитал.

В процессе существования этнической диаспоры социальный капитал выполняет определенные функции. Функции социального капитала в социологической литературе определены нечетко. Данную ситуацию отражает, к примеру, мнение А.Т. Конькова: «отдельные компоненты социального капитала приводят к различным функциональным последствиям, которые в большей или меньшей степени обеспечивают реализацию основной функции социального капитала, определяемой как обеспечение доступа к благам, увеличение доступного индивидам и группам объема благ»<sup>5</sup>. Подобные выводы связаны с многочисленными трактовками самого понятия «социальный капитал», выделением множества его видов и составляющих.

Так, по мнению А. Портеса и П. Ландолт, функции социального капитала связаны с его способностью быть: источником социального контроля; источником внутригрупповой (семейной) поддержки; источником благ через сети, простирающиеся за пределы партикулярной группы (семьи)<sup>6</sup>. Указанные функции справедливы и для социального капитала диаспоры: некоторые его виды обеспечивают доступ к общественным ресурсам, поддержку в достижении целей, осуществляют контроль (нормы, традиции, стереотипы), способствуют воспроизводству этнокультуры диаспоры, обуславливая консолидацию её представителей, создают определенные рамки в процессе приобщения диаспоры к обществу, изолируя её.

Возникает проблема соответствия социального капитала диаспоры требованиям общества, поскольку для наиболее позитивного взаимодействия представители диаспоры должны обладать определенной степенью гражданской культуры в социокультурном смысле этого понятия, быть приобщены к общественным способам деятельности, традициям, стереотипам (Ю.Р. Вишневский, Д.В. Трынов, В.Т. Шапко<sup>7</sup>) что обуславливает интеграцию общества, становление гражданского общества.

С этой точки зрения накопление социального капитала препятствует интеграции в обществе, противоречит формированию гражданского общества. Идеи об упадке социального капитала, отстранения людей друг от друга и от своих сообществ характерны для работ Р. Патнэма: «Этническое многообразие растет в большинстве развитых стран, главным образом из-за резкого роста иммиграции. Иммиграции и этническое разнообразие приводят к уменьшению социальной солидарности и соци-

<sup>1</sup> Burt R. The social capital of structural holes// University of Chicago: Department of Economics URL faculty.chicagobooth.edu/ronald.burt/research/scsh.pdf Обращение к источнику 01.11.2010

<sup>2</sup> Lin N. A network theory of social capita// The Handbook of Social Capital. – UK: Oxford University Press . 2008. P. 50-70

<sup>3</sup> Op. cit. P. 55.

<sup>4</sup> Радаев В.В. Понятие капитала, формы капиталов и их конвертация// Общественные науки и современность 2003. № 2. С. 8

<sup>5</sup> Коньков А. Т. Социальный капитал и его функция в экономическом взаимодействии// Электронный ресурс Сахалинского государственного университета. URL: sakhgu.ru/journal/file17.doc. Обращение к источнику: 23.11.2010

<sup>6</sup> Portes A., Landolt P. The Downside of Social Capital //The American Prospect. 1996. Vol.26 (May-June). P. 18-21

<sup>7</sup> Вишневский Ю. Р., Трынов Д. В., Шапко В. Т. Гражданская культура студентов: тенденции и проблемы формирования // Социологические исследования, 2009. N 4. С. 100-117

ального капитала»<sup>1</sup>. Критикуя Патнэма, Р. Флорида утверждает: «... они (представители этнических групп) стараются вырваться из такого рода сообществ. Конечно, они хотят принадлежать обществу, но не настолько, чтобы это мешало им быть самими собой и жить собственной жизнью.... Обществу нового типа свойственны более разнообразные дружеские контакты, индивидуализация занятий и ослабление связей внутри сообщества»<sup>2</sup>. Такой подход указывает на ограниченность тех связей, которые может предоставить этническое сообщество. Возникает вопрос о необходимости отказа от тех традиционных норм, принципов, которые могут противоречить плодотворному развитию индивидов в личностных стремлениях. Тем не менее этничность и идентичность не становятся факторами, которые могут препятствовать развитию, речь идет о большей открытости самой системы, её членов к требованиям общества, к новым связям, находящимся за пределами группы.

Несмотря на то, что в инокультурной среде диаспора сосредотачивает в себе базисные черты этноса, сохраняя при этом его культуру, на нее значимое влияние оказывают традиции и культура принимающего общества. В подобных условиях приобретение этносом новых свойств становится неизбежным и обязательным для адаптации процессом. Таким образом, диаспора представляет собой феномен, которому присуще проявление черт этноса и приобретение новых качеств, с одной стороны, не препятствующих сохранению первоначальной идентичности, приобретенной в стране происхождения, с другой – необходимых для существования в инокультурной среде. Однако в реалиях современного общества противоречие между собственной и «принимающей» традициями гораздо сложнее и всегда требуется «жертвовать» или одним, или другим. С этой точки зрения изучение последствий подобного взаимодействия приобретает особый интерес, поскольку они могут иметь как позитивный, так и негативный характер, что может отразиться на особенностях культуры диаспоры и принимающего общества.

Анализ существующей литературы, посвященной рассмотрению социального капитала, позволяет прийти к следующим выводам в рамках исследуемой темы. Социальный капитал становится потенциальным ресурсом, с одной стороны, обеспечивающим доступ к социальным, культурным, экономическим благам, с другой – обуславливающий «сохранность» сообщества, передачу этнокультуры из поколения в поколение. «Сети» мигрантов становятся доминирующей формой доступа к социальному капиталу и «включенности» в общество<sup>3</sup>. «Противодействие социальной изоляции» возможно путем приобретения социального капитала за пределами группы<sup>4</sup>, в частности этнической. Дальнейшее изучение тематики исследования позволяет определить одну из проблем многонационального общества в рамках концепции социального капитала, при этом расширяя предметное поле самой концепции и социологической теории.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдые П. Формы капитала / П. Бурдые // Экономическая социология. 2002. Т. 3. № 5. С. 60-74.
2. Вишневский Ю.Р. Гражданская культура студентов: тенденции и проблемы формирования / Ю.Р. Вишневский, Д.В. Трынов, В.Т. Шапко // Социологические исследования. 2009. № 4. С. 100-117.
3. Дятлов В. Диаспора: попытка определиться в понятиях / В. Дятлов // Диаспоры. 1999. № 1. С. 8-23.
4. Коулман Дж. Капитал социальный и человеческий / Дж. Коулман // Общественные науки и современность. 2001. № 3. С. 121-139.
5. Милитарев А. О содержании термина «диаспора» (к разработке дефиниции) / А. Милитарев // Диаспоры. 1999. № 1. С. 24-33
6. Радаев В.В. Понятие капитала, формы капиталов и их конвертация / В.В. Радаев // Общественные науки и современность. 2003. № 2. С. 5-16.
7. Коньков А.Т. Социальный капитал и его функция в экономическом взаимодействии // Электронный ресурс Сахалинского государственного университета. URL: [sakhgu.ru/journal/file17.doc](http://sakhgu.ru/journal/file17.doc). Обращение к источнику: 23.11.2010
8. Тишков В. Диаспора и понятие «родина» / В. Тишков // Личный сайт В. Тишкова. URL: [http://www.valerytishkov.ru/cntnt/publikacii3/lekcii2/lekcii/n42\\_diaspor.html](http://www.valerytishkov.ru/cntnt/publikacii3/lekcii2/lekcii/n42_diaspor.html). Обращение к ресурсу 01.06.2011.

<sup>1</sup> Putnam R. E Pluribus Unum: Diversity and Community in the Twenty-first Century // University of Toronto Ethnic, Immigration, and Pluralism Studies URL [www.utoronto.ca/ethnicstudies/Putnam.pdf](http://www.utoronto.ca/ethnicstudies/Putnam.pdf) Обращение к источнику 25.10.2010.

<sup>2</sup> Флорида Р. Креативный класс // Сайт «Социологические прогулки». URL: <http://www.urban-club.ru/?P=87>. Дата обращения 23.11.2010.

<sup>3</sup> Morales L., Jorba L. Transnational links and practices of migrants' organisations in Spain // Diaspora and Transnationalism. Concepts, Theories and Methods / Bauböck R., Faist Th. (eds). Amsterdam: Amsterdam University Press. 2010. P. 267-293.

<sup>4</sup> Farrington F. Towards a Useful Definition: Advantages and Criticisms of «Social Exclusion» // GEOView: Online Undergraduate Review of Geography and Environmental Studies. URL: [http://www.socsci.flinders.edu.au/geog/geos/PDF Papers/Farrington.pdf](http://www.socsci.flinders.edu.au/geog/geos/PDF%20Papers/Farrington.pdf). Дата обращения 04.05.2012.

9. Тощенко Ж.Т. Диаспора как объект социологического исследования / Ж.Т. Тощенко, Т.И. Чаптыкова // Социологические исследования, 1996. № 12. С. 33-42.
10. Флорида Р. Креативный класс / Р. Флорида // Сайт «Социологические прогулки». URL: <http://www.urban-club.ru/?P=87>. Дата обращения 23.11.2010.
11. Фукуяма Ф. Доверие: социальные добродетели и путь к процветанию / Ф. Фукуяма. М.: АСТ, Ермак, 2004. 730 с.
12. Шеффер Г. Диаспоры в мировой политике / Г. Шеффер // Диаспоры. 2003. №1. С. 162-184.
13. Family Demography, Social Theory, and Investment in Social Capital / N.M. Astone, C. Nathanson, R. Shoen, Y. Kim // Population and Development Review 25(1). 1999. P. 1-31.
14. Bruneau M. Diasporas, transnational spaces and communities / M. Bruneau // Diaspora and Transnationalism. Concepts, Theories and Methods / Bauböck R., Faist Th. (eds) – Amsterdam: Amsterdam University Press. 2010. P. 35-49.
15. Burt R. The social capital of structural holes / R. Burt // University of Chicago: Department of Economics URL [faculty.chicagobooth.edu/ronald.burt/research/scsh.pdf](http://faculty.chicagobooth.edu/ronald.burt/research/scsh.pdf) Обращение к источнику 01.11.2010
16. Esser H. The two meanings of social capital / H. Esser // The Handbook of Social Capital. UK: Oxford University Press. 2008. P. 22-50
17. Грановеттер М. Сила слабых связей / М. Грановеттер // Экономическая социология. 2009. Т. 10. № 4. С. 31-51
18. Faist Th. Diaspora and transnationalism: What kind of dance partners / Th. Faist // Diaspora and Transnationalism. Concepts, Theories and Methods / Bauböck R., Faist Th. (eds). Amsterdam: Amsterdam University Press. 2010. P. 9-34
19. Farrington F. Towards a Useful Definition: Advantages and Criticisms of «Social Exclusion» / F. Farrington // GEOView: Online Undergraduate Review of Geography and Environmental Studies. URL: [http://www.socsci.flinders.edu.au/geog/geos/PDF Papers/Farrington.pdf](http://www.socsci.flinders.edu.au/geog/geos/PDF%20Papers/Farrington.pdf). Дата обращения 04.05.2012
20. King R. Diaspora, migration and transnationalism: Insights from the study of second-generation 'returnees' / R. King, A. Christou // Diaspora and Transnationalism. Concepts, Theories and Methods / Bauböck R., Faist Th. (eds). Amsterdam: Amsterdam University Press. 2010. P. 167-184
21. Lin N. A network theory of social capital / N. Lin // The Handbook of Social Capital. – UK: Oxford University Press. 2008. P. 50-70
22. Paerregaard K. Interrogating diaspora: Power and conflict in Peruvian migration / K. Paerregaard // Diaspora and Transnationalism. Concepts, Theories and Methods / Bauböck R., Faist Th. (eds). Amsterdam: Amsterdam University Press. 2010. P. 91-108.
23. Portes A. The Downside of Social Capital / A. Portes, P. Landolt // The American Prospect. 1996. Vol. 26 (May-June). P. 18-21
24. Putnam R. E Pluribus Unum: Diversity and Community in the Twenty-first Century / R. Putnam // University of Toronto Ethnic, Immigration, and Pluralism Studies URL [www.utoronto.ca/ethnicstudies/Putnam.pdf](http://www.utoronto.ca/ethnicstudies/Putnam.pdf) Обращение к источнику 25.10.2010
25. Safran W. Diasporas in Modern Societies: Myths of Homeland and Return / W. Safran // Diaspora. 1991. Vol. 1. № 1. P. 83-99
26. Tololyan K. 1996: Rethinking Diaspora(s): Stateless Power in the Transnational Moment / K. Tololyan. Diaspora 5: 1. P. 3-35.
27. Turner J.H. The formation of social capital / J.H. Turner // The International Network of the Practices of Fight Against Social Exclusion URL [www.exclusion.net/images/pdf/778\\_fimod\\_turner.pdf](http://www.exclusion.net/images/pdf/778_fimod_turner.pdf). Обращение к источнику 02.11.2010.

**Захарян Инара Эдвардовна** –  
аспирант кафедры «Социология, социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Inara E. Zakharyan** –  
Postgraduate  
Department of Sociology, Social Anthropology and Social Work  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила 15.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

**К.В. Кочелаевская, В.В. Афанасьева**

## **ПРОСТРАНСТВО: ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ НЕКЛАССИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ**

*Обсуждается неопределенность неклассических представлений, противоречивость релятивистских и квантово-механических описаний, приводящая к отсутствию единой концепции пространства-времени в естественных науках.*

Пространство, непрерывность, дискретность

**K.V. Kochelaevskaya, V.V. Afanasyeva**

## **SPACE: RELATIVITY NONCLASSICAL REPRESENTATIONS**

*The paper discusses the vague and contradicting non-classical notions of relativity and quantum mechanics leading to the absence of unified space-time concepts in the natural science.*

Space, time continuity, discretion

Пространство и время являются важнейшим философскими и физическими категориями, позволяющими адекватно описывать движения материальных объектов и строить модели описания физического мира. Важность адекватной хронометрической модели в построении значимой физической теории трудно переоценить, вот почему и анализ эволюции представлений о пространстве является самостоятельной и весьма сложной задачей онтологии и гносеологии.

Важнейшим при таком анализе является исследование отношения «непрерывность-дискретность» при описании топологии и физических свойств пространства. В осмыслении пространства как физического объекта на протяжении столетий доминировали идеи непрерывности. Именно непрерывность, заложенная в математическое описание классических движений в ньютоновской парадигме, привела к концепции абсолютного пространства как трехмерного континуума с заданной евклидовой (прямоугольной) метрикой.

Создание теории относительности заставило пересмотреть классические представления о пространстве как об абсолютном и неизменном евклидовом континууме, потребовало привлечения неевклидовых геометрий Лобачевского, Римана, Бойаи [1, 2]. Революционным стало введение новой криволинейной метрики пространства и рассмотрение криволинейных пространств с различными видами кривизны в моделях Вселенной. Появилось и осознание сущностной связи пространства и времени, отныне они стали мыслиться как связанные друг с другом, взаимозависимые координаты четырехмерного пространственно-временного континуума. В результате появились неклассические концепции пространства, рассматривающие последнее как универсальный физический феномен, обладающий специфическими свойствами, существование которых гарантируется теорией относительности. Однако, несмотря на эти революционные изменения представлений, пространство продолжало считаться непрерывным, хотя и обладающим более сложной, чем в классическом случае, формой. Привычные классическому восприятию представления о пространстве как о вполне определенном вместилище возможных объектов, обладающем свойством непрерывности, сохранились.

Совсем иначе сложилась эпистемическая ситуация в микромире, где возникли принципиальные трудности с определением не только того, какими свойствами обладают пространство и время, но даже и с определениями самого пространства-времени. Неопределенность представлений о пространстве в микромире связана с существованием в нем законов, принципиально отличающихся от законов макромира, и с особенностями движения микрообъектов.

В самом деле, квантовая механика и созданная вслед за ней квантовая теория поля существенно раздвигают границы классических и даже неклассических представлений о физическом пространстве. Квантовая теория поля представляет собой синтез квантовой механики и теории относительности, по сути, – пролонгацию пространственно-временных представлений теории относительности на микромир и квантово-механические процессы. Очевидно, что в микромире не существует мгновенных явлений и непротяженных, точечных процессов, поскольку длительность любого микропроцесса и размеры любого микрообъекта принципиально отличны от нуля в силу принципа неопределенности.

Между тем экстраполяция пространственно-временных представлений теории относительности на микромир приводит к представлениям о точечности взаимодействий частиц и полей. Согласно теории относительности, элементарным частицам вообще нельзя приписать какие-либо конечные размеры, ибо это приводит к нарушению релятивистской инвариантности уравнений, описывающих движение частиц. Это приводит к эпистемическому противоречию: с одной стороны, устанавливаемые теорией относительности резкие пространственно-временные границы, точечность элементарных частиц, взаимодействий и полей; с другой – квантово-механическая невозможность существования резких границ, мгновенных явлений и непротяженных объектов, вероятностная «расплывчатость» состояний.

Анализ трудностей и противоречий, возникающих в квантовой теории поля, заставил исследователей предположить, что в микромире должна существовать пространственно-временная граница, характеризующаяся некоторой минимальной длиной  $l$  и некоторым минимальным промежутком времени  $t$ , которые устанавливают нижнюю границу применимости пространственно-временных представлений теории относительности. Эта гипотеза вошла в современную физику как гипотеза о прерывности пространства и времени [3]. Уже в ранних работах Гейзенберга высказывалась идея, что «удастся построить теорию, в которой причинность нарушается только внутри очень малой области...», причем «разграничение пространства времени на области «малые», где причинность нарушена, и «большие», где она выполнена, невозможно без появления в нелокальной теории новой константы размерности длины – элементарной длины» [4].

С этой точки зрения, непрерывное пространство и время оказываются лишь упрощенной интерпретацией реального пространства-времени, сглаживающей различия, которые имеют место «в малом», нивелирующей эти различия однородностью пространства «в большом».

В связи с этим уместно вспомнить результаты Гильберта, обратившего внимание на то, что модель непрерывности вряд ли способна работать в малых пространственных интервалах, что неправомерно переносить закономерности уже изученной области физической реальности на еще не исследованные уровни: «... у нас нет нужды полагать, что математическое пространственно-временное описание движения имеет физический смысл и для произвольно малых пространственных и временных интервалов, скорее всего, имеет основание предположение, что эта математическая модель экстраполирует факты известной области опыта, ... экстраполирует просто в смысле образования понятий... сколь мало масса воды при неограниченном пространственном делении вновь и вновь дает массы воды, столь же мало это имеет место и для движения... Математическая модель движения имеет, несмотря на это, непреходящее значение для целей упрощенного изображения как идеализирующее образование понятия» [5].

Таким образом, непрерывность пространства в микромире мыслится очередной идеализацией. Эта идеализация состоит в игнорировании возможной существенной структуры пространства и времени «в малом», в обеднении его реального содержания [6]. Идея квантования пространства и времени в микромире приводит к построению модели, в которой непрерывные в макромире пространство и время дробятся в микромире на некие «последние» элементы – на так называемые элементарную длину, аналог демокритовского амера, и хронон, минимальный интервал времени. Эти конкретные физические величины противопоставляются непрерывному пространству и времени в макромире, что напоминает подход греческого атомизма, исходившего из допущения абсолютного предела делимости пространственной протяженности. Подчеркнем, что речь идет о дискретности физического, а не математического фазового пространства квантовых объектов, дискретность которого не вызывает сомнения исследователей.

Введение Х. Снайдером, Х. Коишем и И. Шапиро [7-9] представлений о дискретном пространстве и времени в квантовую теорию поля, устранивших расходимости физических величин, привели к новым трудностям: невыполнению требования «унитарности», несогласованности квантовой механики с принципом релятивизма и др. Концепция дискретного пространства-времени оказалась такой же или даже менее удачной идеализацией, чем концепция непрерывного пространства. Возможно, представления о непрерывности или дискретности в отношении пространства оказываются такими же бедными и недостаточными, как представления о волне или частице в случае квантовых объектов.

Гносеологическое затруднение, которое возникает при согласовании физических теорий на квантовом уровне – это та же трудность, на которую в свое время указывал Гегель, т.е. «трудность преодолеть мышление, ибо единственным, что причиняет затруднения, является всегда мышление, потому что оно фиксирует в их различии и разъединении моменты, которые на самом деле связаны друг с другом» [10].

Итак, сложность пространственно-временного описания в неклассической физике состоит в том, что употребление в ней понятий пространства и времени начинает носить формальный характер, а сами понятия теряют привычный смысл. Таким образом, возникает ситуация, когда «экстраполяция классических представлений о пространстве и времени на расстояние меньше элементарной длины  $l$  неправомерна не потому, что там нет расстояний и промежутков времени, а потому что за пределами этой границы пространство и время обладают качественно иными характеристиками». Так, И.С. Шапиро подчеркивает, что «микром мире понятие длины, т.е. расстояния между двумя точками теряет всякий смысл» [12]. В микром мире пространство и время становятся ненаблюдаемыми в привычном смысле, появляется множество параллельных теоретических моделей описания, даже таких, которые вовсе не используют пространственно-временного формализма.

Существует даже мнение, что в микром мире теряют смысл классические временные отношения «раньше-позже», а исследователи имеют дело со связными «комками» событий, которые взаимно друг друга обуславливают, но не следуют одно за другим [13], причем в этих нелокальных теориях вводится предел применимости причинного описания, которое выступает лишь как макроскопическая аппроксимация.

С представлением об относительности «атомов» пространства и времени связана проблема множественности границ, которые отделяют друг от друга качественно-различные пространственно-временные области с разными типами взаимодействий. Так, минимальная длина и минимальный промежуток времени по отношению к области, в которой определяющую роль играют гравитационные взаимодействия, связаны с пространственно-временной границей, отделяющей эту область от области, в которой определяющими являются электромагнитные взаимодействия, и т.д.

Существование минимальной длины и минимального промежутка времени по отношению к области гравитационных взаимодействий неявно учитываются в общей теории относительности в форме граничных условий на «малых» расстояниях: для малых расстояний и скоростей пространство оказывается евклидовым. В области макрокосмоса, в которой определяющую роль играют электромагнитные взаимодействия, евклидовость пространства заменяется римановой геометрией пространства. Приближение к пространственно-временной границе в микром мире предполагает введение принципиально иных свойств пространства-времени, нежели те, что действуют в макром мире. Таким образом, современная физика сталкивается с проблемой очередного определения пространственно-временных свойств, что влечет за собой неопределенность характеристик движения и самого понятия «движение» в микром мире.

Итак, неклассическая физика приходит к пониманию необходимости введения представлений о пространстве с нетривиальной топологией. Однако до сих пор хроногеометрической модели, которая адекватно описывала бы все явления микромира, не существует, более того, неясно, возможно ли такое построение вообще. Неадекватное же построение хроногеометрической модели может привести, как было показано Рейхенбахом, к появлению в физическом описании различных аномалий [14]. Среди них выделяют причинные, нарушающие именно пространственно-временное описание: 1) нарушение принципа близкодействия; 2) нарушение релятивистской причинности; 3) возникновение физических объектов из «ничего» и исчезновение их в «ничто».

Неадекватность хроногеометрической модели может привести и к т.н. «объективным» аномалиям, основные из которых: появление в описании ненаблюдаемых объектов; нарушение свойства самоидентификации физического объекта; выход значений физических величин в нефизические области. Так, аномалия первого типа возникла, когда принятие гипотезы абсолютного пространства в модели Лоренца потребовало существования ненаблюдаемого эфира. Аналогично, ненаблюдаемость ультрамалых временных интервалов в квантовой теории поля ведет к ненаблюдаемости внутренней структуры элементарных частиц. Некоторые парадоксы тождества и различия, наблюдаемые в квантовой механике (неразличимость одинаковых частиц и др.) могут объясняться аномалией второго вида. Третья аномалия приводит к парадоксальным значениям физических характеристик. Например, массы и другие характеристики частиц становятся мнимыми или бесконечными, вероятности приобретают отрицательные значения и т.д. Так, предполагается, что возникновение бесконечностей в квантовой теории поля связано с допущением о непрерывности микропространства, в то время как введение дискретности позволяет их устранить.

Удовлетворительная хроногеометрическая модель, учитывающая особенности движения в микромире, согласующаяся с теорией относительности, предполагающая существование пространства с нетривиальной топологией: дискретного, несвязного, структурированного – до сих пор не построена. Можно предположить, что именно сложная топология пространства «в малом» приводит к принципиальной неопределенности квантовых состояний и движений, которое теряет свою опреде-

ленность именно в пространственно-временных интервалах, порядок которых совпадает с порядком элементарной длины и хронона. Отсутствие определенных представлений о пространстве в микромире вносит дополнительную эпистемическую неопределенность как в описание квантово-механических движений, так и в физическую интерпретацию получаемых результатов.

Таким образом, неопределенность описания физических процессов в микромире приводит к неопределенности представлений о пространстве, которые могут быть устранены созданием универсальной хроногеометрической модели, адекватно описывающей как макромир, так и микромир, что в настоящее время представляется проблематичным. Сказанное означает, что традиционные философские представления о пространстве оказываются недостаточными и весьма упрощенными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Эйнштейн А. Работы по теории относительности / А. Эйнштейн // Собр. науч. трудов. М., 1965-1966
2. Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени / А. Грюнбаум. М., 1969.
3. Вяльцев А.Н. Дискретное пространство-время / А.Н. Вяльцев. М., 1965.
4. Heisenberg W. Doubts and hopes in quantum-electrodynamics / W. Heisenberg // Phys. Rev. V. 19. 1953. P. 897.
5. Hilbert D. Grundlagen der Mathematik / D. Hilbert, R. Bernays. Bd. 1, Berlin, 1934. S. 16.
6. Чудинов Э.М. Пространство и время в современной физике / Э.М. Чудинов. М., 1969. С. 38.
7. Snider H. Quanted Space / H. Snider // Time. Phys. Rev. 1947. V. 71. P. 38.
8. Coish H. Elementary particles in a finite world / H. Coish // Phys. Rev. 1957. V. 114. P. 383.
9. Shapiro I. Weak interaction in the theory of elementary particles with finite space / I. Shapiro // Nucl. Phys. 1960. № 21. P. 474.
10. Гегель. Соч. Т. 9. С. 242.
11. Философские проблемы физики элементарных частиц. М., 1963. С. 172.
12. Шапиро И.С. О квантовании пространства и времени в теории «элементарных частиц» / И.С. Шапиро // Вопросы философии. 1962. № 5.
13. Барашенков В.В. Об экспериментальной проверке принципа причинности / В.В. Барашенков // Вопросы философии. 1965. № 2. С. 110.
14. Reichenbach H. The philosophy of Space and time / H. Reichenbach. N.Y., 1958.

**Кочелаевская Кристина Владимировна** – старший преподаватель кафедры «Инженерная физика» Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова

**Kristina V. Kochelaevskaya** – Senior Lecturer  
Department of Engineering Physics  
N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University

**Афанасьева Вера Владимировна** – профессор кафедры «Философия и методология науки» Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского

**Vera V. Afanasyeva** – Professor  
Department of Philosophy and Scientific Method  
Chernyshevsky Saratov State University

*Статья поступила в редакцию 15.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 364.04:94

**А.Д. Любимова**

### **РОССИЙСКАЯ МОНОРОДИТЕЛЬСКАЯ СЕМЬЯ: ОСНОВНЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ДИСКУРСЫ**

*Статья посвящена проблемам российских монородительских семей. Автором рассмотрены основные дискурсы, сформированные вокруг современной монородительской семьи.*

Монородительская семья, уровень жизни

A.D. Lubimova

## RUSSIAN MONOPARENT FAMILY: KEY DISCUSSIONS

*The article is devoted to mono-parent families in Russia. The author describes the key discussion points formed around the modern mono-parent family issue.*

Monoparent family, life level

В общественной системе важное место отводится институту семьи как главному носителю культурных образцов, норм и ценностей. Вплоть до середины прошлого столетия наиболее распространенной формой семейных отношений была нуклеарная семья, трактовавшаяся как гетеросексуальный союз, основанный на браке и совместном проживании<sup>1</sup>. Однако, являясь динамичным компонентом общества, отражающим социальные, культурные, политические события, семья начинает претерпевать изменения. Тенденция к модернизации семьи способствовала переосмыслению брачно-семейных отношений; «Происходящие в обществе трансформации определяют изменения и в социальных институтах, в частности, таких как институт родительства, брака и семьи»<sup>2</sup>. Трансформационные процессы семьи и брака, выразившиеся в разделении институтов родительства, супружества и родства, обусловили возникновение различных моделей семьи, среди которых можно выделить монородительство, сожительство, однополые браки, *childfree*<sup>3</sup>.

Российская семья, открытая западному влиянию, в полной мере ощутила на себе перемены в сфере семейных отношений. В результате данных событий монородительство становится все более распространенной формой российской семьи<sup>4</sup>. Монородительской принято считать семью, в которой отсутствует один из родителей по причинам смерти, лишения родительских прав, расторжения законного брака, отказа от участия в воспитании ребенка. Соответственно высокое количество разводов, внебрачная рождаемость, смертность способствуют увеличению доли монородительских семей. Как правило, отсутствие одного из родителей становится источником проблем, сопровождающих семью до момента совершеннолетия детей, а иногда и более длительный период.

О проблемах монородительской семьи и механизмах их урегулирования пишут многие отечественные исследователи. Рассуждения относительно монородительства в современной литературе можно разделить на следующие типы дискурсов: социально-экономический, психолого-педагогический, дискурс прав.

### **Нестабильное материальное положение монородительской семьи: социально-экономический дискурс**

Нестабильное материальное положение монородительских семей стало объектом внимания многих исследователей, работы которых легли в основу социально-экономического дискурсивного поля. Проблемы одиноких родителей рассматриваются сквозь призму социальных, экономических, политических преобразований. Данный дискурс складывается из исследований по двум направлениям: во-первых, интерес представляют основные проблемы и потребности монородительских семей и, во-вторых, анализируется деятельность институтов социальной поддержки, направленная на удовлетворение потребностей одиноких родителей. Отсутствие у одиноких матерей и отцов доступа к необходимым ресурсам позиционируется как одна из главных причин бедственного положения монородительских семей: «Подавляющее большинство семей одиноких матерей – это семьи с весьма скудными материальными ресурсами и ограниченными возможностями в выборе вариантов изменить свою жизнь к лучшему»<sup>5</sup>. Во многих работах монородительство ассоциируется с понятиями бедности и нужды: «Именно неполные семьи по доле бедных опережают все другие типы семей»<sup>6</sup>. В связи с этим вполне справедливым выглядит причисление одиноких родителей и их детей к наиболее уязвимым группам населения: «Институт неполной семьи очень слаб и особенно нуждается в социальной

<sup>1</sup> Тартаковская И. Гендерная социология. М., 2005. С. 189-190.

<sup>2</sup> Куприянова И.С., Греченкова Т.И. Феминистский анализ нетрадиционных моделей родительства в современной России // Актуальные проблемы демографической политики / под ред. П.В. Романова. Саратов, 2004. С. 149.

<sup>3</sup> Hammer V. Alleinerziehende im Gender-Diskurs – Unterschiede oder Gemeinsamkeiten bei Müttern und Vätern? // [http://www.hs-coburg.de/fileadmin/FB\\_S/Hammer/Alleinerziehende\\_im\\_Gender-Diskurs\\_2002.pdf](http://www.hs-coburg.de/fileadmin/FB_S/Hammer/Alleinerziehende_im_Gender-Diskurs_2002.pdf). Обращение к ресурсу 02.10.2010.

<sup>4</sup> Ярская-Смирнова Е., Романов П. Социальная защищенность городской монородительской семьи // Мир России. 2004. №2. С. 66.

<sup>5</sup> Лунякова Л. О современном уровне жизни семей одиноких матерей // Социологические исследования. 2001. №8. С. 92-93.

<sup>6</sup> Фести П., Прокофьева Л. Алименты, пособия и доходы семей после развода // Мир России. 1997. №4. С. 19.



защите и поддержке»<sup>1</sup>. Л. Лунякова пишет о процессе маргинализации таких семей по причине их нестабильного материального положения: «Субъективные оценки вполне корреспондируют с объективными критериями и дают все основания характеризовать семьи одиноких незамужних матерей как маргинальные: бедность и нищета пронизывают их жизнь и быт, особенно в провинциальном городе»<sup>2</sup>.

Основываясь на результатах проведённых исследований, авторы освещают спектр проблем, возникающих у одиноких родителей. Наиболее часто одинокие матери и отцы сталкиваются с такими трудностями, как нехватка материальных ресурсов, плохие жилищно-бытовые условия, проблемы с устройством детей в дошкольные и школьные учреждения. В работе С. Даниловой внимание акцентируется на бедственном положении материнских семей: «Большинство семей одиноких матерей находится за чертой бедности, что является фактором, затрудняющим их адаптацию к новым условиям жизни»<sup>3</sup>. Автор выделяет такие трудности, как проблемы материального обеспечения, проблемы образования нуклеарной семьи, проблемы воспитания детей, проблемы с устройством детей в дошкольные и школьные учреждения; отсутствие достойного жилья.

Стоит отметить, что большинство работ, повествующих о финансовых трудностях монородительских семей, написано в 1990-е годы, наполненные рядом знаковых событий, среди которых – смена политического режима и государственной модели социальной политики: «Теперь все изменилось – государственная поддержка матерей и детей, даже символическая, практически отсутствует»<sup>4</sup>. В «новой России» не уделялось достаточного внимания социальной поддержке монородительства, в результате чего одинокие отцы и матери остались один на один со своими проблемами: «Утрата государственного социального обеспечения, недостаток доступных услуг по уходу за детьми, снижение возможностей на рынке труда и гендерного равенства в заработке привели к эрозии семейной стабильности в России и поместило одиноких матерей в ситуацию высокого риска бедности»<sup>5</sup>. Нестабильная обстановка в стране, сложившаяся в этот период, отразилась и на жизни монородительских семей, вследствие чего они оказались в тяжёлой жизненной ситуации. Описание социально-экономического положения одиноких родителей в литературе этого периода доказывает, что переходный период стал наиболее проблемным и трудным для монородительских домохозяйств: «Экономический статус домохозяйств одиноких матерей оказался одним из наиболее низких по отношению к другим домохозяйствам в России»<sup>6</sup>.

О. Безрукова обнаружила, что финансовые трудности домохозяйств создают стрессовые состояния в таких семьях, приводят к риску успешной социализации детей, ухудшению здоровья. Автор видит выход из данной проблемы в совершенствовании институтов социальной поддержки монородительства.

Причиной материальных трудностей монородительских семей видится несовершенная система социальной политики: «Меры финансовой поддержки многодетных семей и одиноких родителей при существующем в России размере пособия на ребенка без дополнительно созданных программ будут удерживать женщин и детей в состоянии бедности»<sup>7</sup>. Мероприятия, ориентированные на одиноких родителей, ограничиваются оформлением денежного пособия, на которое невозможно содержать семью. П. Романов, Е. Ярская-Смирнова, Е. Цыглакова причину материальной нестабильности монородительской семьи видят в злоупотреблении отношениями клиентства как со стороны социальных служб и занятых там работников, так и со стороны потребителей социальных услуг: «В результате дефицит ресурсов для противостояния жизненным трудностям не восполняется, и потребитель услуг превращается в «клиента» со стигмой «проблемности», беспомощности и бесполезности»<sup>8</sup>.

Таким образом, можно говорить о том, что многие авторы в своих публикациях пытаются обратить внимание государства и общественности на проблемы, которые испытывают монородительские семьи. По причине отсутствия одного из кормильцев такая семья находится в весьма бедственном

<sup>1</sup> Рашитова Л. Об основных формах социальной помощи членам неполных семей // [ftp://lib.herzen.spb.ru/text/rashitova\\_96\\_330\\_333.pdf](ftp://lib.herzen.spb.ru/text/rashitova_96_330_333.pdf). Обращение к ресурсу 10.03.2010.

<sup>2</sup> Лунякова Л. О современном уровне жизни семей одиноких матерей // Социологические исследования. 2001. №8. С. 89.

<sup>3</sup> Данилова С. Социологический анализ проблем одиноких матерей в малом городе // Женщина в Российском обществе. 2009. №1. С. 51.

<sup>4</sup> Исупова О. Социальный смысл материнства в современной России // Социологические исследования. 2000. №11. С. 98.

<sup>5</sup> Там же.

<sup>6</sup> Ярская-Смирнова Е.Р., Романов П.В. Социальная защищенность городской монородительской семьи // Мир России. 2004. №2. С. 71.

<sup>7</sup> Ловцова Н.И. «Здоровая, благополучная семья – опора государства»? Гендерный анализ семейной социальной политики // Журнал исследований социальной политики. 2003. №3/4. С. 325.

<sup>8</sup> Романов П., Ярская-Смирнова Е., Цыглакова Е. Одинокие матери – клиенты или граждане? Анализ практики социального обслуживания в провинциальной России // Гендерная экспертиза социальной политики и социальной работы / под. ред. Е.Р. Ярской-Смирновой и Н.И. Ловцовой. Саратов, 2003. С. 185.

ном положении, в связи с чем возникает вопрос о необходимости оказания одиноким родителям и их детям качественной профессиональной помощи.

### **Монородительская семья как источник социальных проблем: психолого-педагогический дискурс**

Психолого-педагогический дискурс составляют работы, освещающие проблемы воспитания детей одним родителем. Монородительские семьи в литературе называются «неполными», соответственно, одинокое материнство и отцовство в таких публикациях позиционируются как общественная патология, способствующая разрушению института семьи и брака: «Рождение вне брака представляет собой, на первый взгляд, ориентацию на внесемейный образ жизни, падение ценности семьи в сознании незамужних матерей, возможно, даже ее кризис»<sup>1</sup>. Подобное отношение к одиноким родителям связано с укоренившейся ещё в советском обществе тенденцией считать «нормой» нуклеарную семью: «В лексиконе российских государственных чиновников, социальных работников, журналистов, учителей прочно прижилось словосочетание «неполная семья», которое отражает представления о нуклеарной семейной единице (мать-отец-ребенок/дети) как о «полной», нормальной, завершённой композиции семейной структуры»<sup>2</sup>. Семья как мощная идеологическая конструкция должна выполнять важную для государства репродуктивную функцию, что представляется весьма проблематичным для одиноких родителей.

Как правило, работы, принадлежащие к данному дискурсу, представляют собой рекомендации для педагогов, психологов, школьных социальных работников о взаимодействии с детьми, воспитываемыми одним родителем. Ребенок из монородительской семьи автоматически причисляется к категории учеников, требующих особенного внимания со стороны педагога или воспитателя. В общественном сознании на протяжении многих лет бытует мнение, что один родитель не способен дать полноценного воспитания своим детям: «Среди проблем неполных семей особенно остро стоит проблема ее функционирования как института воспитания и социализации детей»<sup>3</sup>. Отсутствие должного воспитания, по мнению авторов, становится причиной отклонения в поведении и плохой успеваемости ребёнка в школе: «Отсутствие одного родителя в семье может явиться причиной неполноценного, неудачного воспитания детей»<sup>4</sup>. М. Блохина подчёркивает, что «неполная семья негативно влияет на процесс воспитания ребенка и построение его будущей модели семейного поведения»<sup>5</sup>.

Авторы пишут, что последствием воспитания в монородительской семье становятся умственное отклонение, задержка в развитии у детей: «Ребенок без отца обречен на умственное отставание, моральную неполноценность, грубые отклонения в поведении»<sup>6</sup>. По мнению С. Дементьевой, воспитание детей одним родителем пагубно влияет не только на умственное развитие, но и на состояние здоровья ребёнка в целом: «Дети из неполных семей значительно чаще, чем дети из полных, подвержены острым и хроническим заболеваниям, протекающим в более тяжелой форме»<sup>7</sup>. Само название статьи С. Дементьевой «Негативные факторы воспитания – антисоциальное явление, отрицательно влияющее на процесс социализации ребёнка в современном обществе. Дети, воспитываемые одинокими родителями, чаще всего изображаются как девианты. Исследователи указывают, что жизнь большинства детей из монородительских семей будет связана с такими явлениями, как бедность, нужда, преступность. В педагогической и психологической литературе семьи одиноких матерей и отцов включены в группу риска: «Неполные семьи – это семьи группы риска, характеризующиеся односторонним воспитанием детей, отсутствием примера мужского поведения»<sup>8</sup>.

Воспитание в монородительской семье репрезентируется как причина различных проблем, возникающих у детей, начиная с плохого усвоения материала в школе и заканчивая делинквентным поведением. Таким образом, государственные структуры перекладывают ответственность за проблемы, возникающие у детей, на одиноких родителей. Педагогам, врачам, психологам, часто не желающим разобраться в сути проблемы, удобно считать главной причиной всех трудностей отсутствие у ребёнка второго родителя. В данных работах нашло своё отражение отношение власти к феномену монородительства. Гораздо выгоднее было укреплять позиции нуклеарной семьи, которая, во-первых, является важным репродуктивным ресурсом, а, во-вторых, наносит меньший ущерб бюджету

<sup>1</sup> Каримова З. Жизненные ценности одиноких матерей // Социологические исследования. 2007. №6. С. 131.

<sup>2</sup> Ярская-Смирнова Е.Р., Романов П.В. Социальная защищенность городской монородительской семьи // Мир России. 2004. №2. С. 68.

<sup>3</sup> Кожевникова С., Тузикова Т. Особенности работы социального педагога с неполными семьями, воспитывающие детей-подростков // Наука и образование. 2009. С. 362.

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Блохина М. Проблемы внебрачной рождаемости // Социология. 2006. №3/4. С. 133.

<sup>6</sup> Степанова Е.Г. Формирование личности ребенка без воспитательного потенциала отца // Наука-2010. 2010. №1. С. 181.

<sup>7</sup> Дементьева И. Негативные факторы воспитания детей в неполной семье // Социологические исследования. 2001. № 1. С. 109.

<sup>8</sup> Блохина М. Проблемы внебрачной рождаемости // Социология. 2006. №3/4. С. 133.

страны, потому что не нуждается в выплате многочисленных пособий, в отличие от одиноких родителей. Ведь монородительские семьи требуют от государства дополнительных затрат, представляющих собой денежные компенсации и льготы. Дискриминационные практики в отношении одиноких родителей можно расценивать как механизм «запугивания»: прежде чем решиться на рождение ребенка, одинокая женщина должна осознать, способна ли она выдержать гнет общественного порицания.

### **Стигматизация монородительских семей: дискурс прав**

Новая проблематизация предметного поля исследований феномена монородительства представлена темой стигматизации и дискриминации одиноких родителей. В отличие от психолого-педагогического дискурса, здесь авторы считают целесообразным отказ от дискриминационного понятия «неполная семья». В публикациях появляется термин монородительская семья, что можно считать вполне естественным, учитывая специфику данного дискурсивного поля. В рамках дискурса освещаются непростые отношения монородительской семьи и государственных структур, являющихся главными субъектами дискриминационных действий по отношению к одиноким родителям.

Авторы фиксируют частые случаи нарушения законных прав одиноких родителей. По закону монородительские семьи обладают определёнными правами и полномочиями в области социального обеспечения. Однако, как показывает практика, утвержденные законодательством льготы и привилегии для одиноких родителей часто являются лишь формальностью: «Остаются проблемы, вызовы, на которые семейная политика должна реагировать, – дефекты правоприменения трудового законодательства»<sup>1</sup>. В литературе основным объектом дискриминации показана такая категория монородительства как одинокие матери: «Одинокие матери, разведенные женщины, многодетные матери иногда стигматизируются как аморальные, ленивые, безответственные, их часто упрекают в существующих проблемах и считают недостойными быть родителями»<sup>2</sup>.

Стигматизация одинокого материнства имеет непосредственную взаимосвязь с традицией патриархата, пришедшей к нам из далёкого прошлого. Несмотря на укоренившуюся в большинстве европейских стран идею дефамилиализации отношений, в российском обществе воспитание женщиной ребёнка без участия мужа рассматривается как отклонение от нормы, то есть девиация: «Если женщина разведена или одинока, ее порядочность автоматически ставится под сомнение»<sup>3</sup>. Исследователи пишут о том, что на отношение к матерям, воспитывающим детей без мужа, оказывали влияние укрепившие свои позиции в обществе стереотипы: «Монородительские семьи и многодетные семьи по умолчанию считаются аморальными, несчастными и опасными для общества, с неадекватной ценностной системой и подозрительной сексуальностью»<sup>4</sup>. Как отмечает Н. Ловцова, «одинокие матери, разведенные женщины, многодетные матери иногда стигматизируются как аморальные, ленивые, безответственные, их часто упрекают таким положением вещей и даже трактуют как людей, недостойных быть родителями»<sup>5</sup>. Подобное отношение к феномену монородительства можно связать с тенденцией считать «нормальной» традиционную семью с четким распределением ролей: «Современные представления о системе социальной поддержки опираются на понятие семьи, при котором мужчина является основным добытчиком, домашняя работа возложена на женщин»<sup>6</sup>. В результате одинокая женщина с детьми, не имеющая заработка, вследствие чего материально зависима от государства, оказывается в крайне тяжелом положении и, как правило, подвергается общественному порицанию. Это обстоятельство становится причиной стигматизации одиноких матерей со стороны как рядовых граждан, так и работников социальных учреждений, педагогов и других специалистов, соприкасающихся в ходе своей деятельности с монородительскими семьями: «Нарушение материнских прав фиксируется в невыплате детских пособий, их крайне низких размерах, в низких размерах заработной платы а также в высокой стоимости пребывания ребенка в детском саду, в чрезвычайно высоких расходах на содержание и воспитание ребенка»<sup>7</sup>. Дискриминационные суждения, выражающиеся в причислении материнских семей к категории неблагополучных, как правило, используются специалистами с целью упрощения классификации различных групп клиентов. Как показывает практика, сотрудникам современных социальных служб в своей работе проще использовать принцип обобщения, нежели вникать в

<sup>1</sup> Ярская-Смирнова Е. «Да-да, я вас помню, вы же у нас неблагополучная семья!» Дискурсивное оформление современной российской семейной политики // Женщина в российском обществе. 2010, №2. С. 17.

<sup>2</sup> Ловцова Н. «Здоровая, благополучная семья – опора государства»? Гендерный анализ семейной социальной политики // Журнал исследований социальной политики. 2003. №3/4. С. 325.

<sup>3</sup> Данилова С. Одинокое материнство в общественном мнении // Социологические исследования. 2009, №. 5. С. 138.

<sup>4</sup> Ярская-Смирнова Е.Р. Указ. соч. С. 18.

<sup>5</sup> Ловцова Н. Гендерный анализ семейной социальной политики // Гендерная экспертиза социальной политики и социальной работы / под. ред. Е.Р. Ярской-Смирновой и Н.И. Ловцовой. Саратов: Изд-во «Научная книга», 2003. С. 22.

<sup>6</sup> Там же.

<sup>7</sup> Ярская-Смирнова Е.Р., Романов П.В. Социальная защищенность городской монородительской семьи // Мир России. 2004. №2. С. 72.

ситуацию каждой отдельной монородительской семьи. По мнению авторов, нарушение прав одиноких матерей в российском обществе является следствием того, что институты, которые должны заниматься социальной поддержкой и защитой прав монородительских семей, сами порой становятся субъектами стигматизации своих клиентов. Как отмечает Е. Зорина, «несмотря на то, что в современном обществе существует множество типов семей, семейная политика направлена на формирование и поддержку только определенного, «традиционного» типа семьи (состоящей из двух родителей и детей), в то время как она должна быть направлена на удовлетворение потребностей всех типов семей, должна признавать разнообразие форм семьи и быть более гибкой в реализации»<sup>1</sup>. Авторы фиксируют, что государство, определяя нуклеарную семью в качестве нормы, остальные типы семей, в том числе и монородительскую, относят к девиантным. Монородительская семья, не способная сделать действенный вклад в решение демографической проблемы страны, становится скорее предметом дискриминации нежели объектом заботы. При этом основные привилегии в сфере охраны материнства и детства предназначаются для нуклеарной семьи: «Концепция семейной политики России явилась реакцией на резкое ухудшение положения многих семей, на резкий спад рождаемости, озабоченность по поводу девальвации моральных норм»<sup>2</sup>. В работах, относящихся к данному курсу, прослеживается осуждение выбранной государством стратегии выделения нуклеарного типа семьи, посредством которого власть стремится укрепить и усилить репродуктивную функцию исследуемого социального института в демографической ситуации низкой рождаемости: «Более важная задача семейной политики состоит в том, чтобы дети рождались здоровыми и могли получить полноценное воспитание и образование, а их родители – совмещать профессиональную карьеру и семейные обязанности»<sup>3</sup>.

Литература, посвящённая феномену монородительства, раскрывает проблемное поле, сложившееся вокруг таких семей, с разных сторон. Исследователи обращают внимание на социально-экономическое положение монородительских семей, их институциональную поддержку и сложившееся в обществе отношение к ним. Темы, затрагиваемые в рассмотренной литературе, акцентируют внимание на недостатках семейной политики, которые становятся причиной материального неблагополучия и дискриминации монородительских семей. Однако, несмотря на многообразие исследований, существуют малоизученные сферы, например, дифференцированная структура монородительских семей, противоречия между функциями заботы и контроля, проявляющиеся в деятельности институтов социальной поддержки монородительства, элементы социального благополучия семьи с одним родителем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Блохина М. Проблемы внебрачной рождаемости / М. Блохина // Социология. 2006. №3/4. С. 133-138.
2. Дементьева И. Негативные факторы воспитания детей в неполной семье / И. Дементьева // Социологические исследования. 2001. № 1. С. 108-113.
3. Данилова С. Одинокое материнство в общественном мнении / С. Данилова // Социологические исследования. 2009, №. 5. С. 138-141.
4. Данилова С. Социологический анализ проблем одиноких матерей в малом городе / С. Данилова // Женщина в российском обществе. 2009, №1. С. 49-57.
5. Зорина Е. Воспитательный потенциал старшего поколения в семьях с детьми / Е. Зорина // Социальная политика и мир детства в современной России: коллективная монография; под ред. Е.Р. Ярской-Смирновой и Е.П. Антоновой. М.: ООО «Вариант», 2009. С. 204-212.
6. Исупова О. Социальный смысл материнства в современной России / О. Исупова // Социологические исследования. 2000. №11. С. 98-107.
7. Каримова З. Жизненные ценности одиноких матерей / З. Каримова // Социологические исследования. 2007. №6. С. 131-134.
8. Кожевникова С. Особенности работы социального педагога с неполными семьями, воспитывающие детей-подростков / С. Кожевникова, Т. Тужикова // Наука и образование. 2009.
9. Куприянова И.С. Феминистский анализ нетрадиционных моделей родительства в современной России / И.С. Куприянова, Т.И. Греченкова // Актуальные проблемы демографической политики / под ред. П.В. Романова. Саратов: Научная книга, 2004. С. 149-155.
10. Ловцова Н.И. «Здоровая, благополучная семья – опора государства»? Гендерный анализ семейной социальной политики / Н.И. Ловцова // Журнал исследований социальной политики. 2003. №3/4. С. 323-329.

<sup>1</sup> Зорина Е. Воспитательный потенциал старшего поколения в семьях с детьми // Социальная политика и мир детства в современной России: коллективная монография; под ред. Е.Р. Ярской-Смирновой и Е.П. Антоновой. М., 2009. С. 205

<sup>2</sup> Ловцова Н. Гендерный анализ семейной социальной политики // Гендерная экспертиза социальной политики и социальной работы / под. ред. Е.Р. Ярской-Смирновой и Н.И. Ловцовой. Саратов, 2003. С. 23.

<sup>3</sup> Зорина Е. Указ. соч. С. 205.

11. Ловцова Н. Гендерный анализ семейной социальной политики // Гендерная экспертиза социальной политики и социальной работы / под ред. Е.Р. Ярской-Смирновой и Н.И. Ловцовой. Саратов: Научная книга, 2003. С. 19-43.
12. Луныкова Л. О современном уровне жизни семей одиноких матерей / Л. Луныкова // Социологические исследования. 2001. №8. С. 86-95.
13. Рашитова Л. Об основных формах социальной помощи членам неполных семей / Л. Рашитова // [ftp://lib.herzen.spb.ru/text/rashitova\\_96\\_330\\_333.pdf](ftp://lib.herzen.spb.ru/text/rashitova_96_330_333.pdf). Обращение к ресурсу 10.03.2010.
14. Романов П. Одинокие матери – клиенты или граждане? Анализ практики социального обслуживания в провинциальной России / П. Романов, Е. Ярская-Смирнова, Е. Цыглакова // Гендерная экспертиза социальной политики и социальной работы / под ред. Е.Р. Ярской-Смирновой и Н.И. Ловцовой. Саратов: Научная книга, 2003. С. 184-211.
15. Степанова Е.Г. Формирование личности ребенка без воспитательного потенциала отца / Е.Г. Степанова // Наука-2010. 2010. №1. С. 180-183.
16. Тартаковская И. Гендерная социология / И. Тартаковская. М.: ООО «Вариант», 2005. С. 189-190.
17. Фести П. Алименты, пособия и доходы семей после развода / П. Фести, Л. Прокофьева // Мир России. 1997. №4. С. 19-24.
18. Ярская-Смирнова Е.Р. «Да-да, я вас помню, вы же у нас неблагополучная семья!» Дискурсивное оформление современной российской семейной политики / Е.Р. Ярская-Смирнова // Женщина в российском обществе. 2010. №2. С. 14-25.
19. Ярская-Смирнова Е. Социальная защищённость городской монородительской семьи / Е. Ярская-Смирнова, П. Романов // Мир России. 2004. №2. С. 66-95.
20. Hammer V. Alleinerziehende im Gender-Diskurs – Unterschiede oder Gemeinsamkeiten bei Müttern und Vätern? // [http://www.hs-coburg.de/fileadmin/FB\\_S/Hammer/Alleinerziehende\\_im\\_Gender-Diskurs\\_2002.pdf](http://www.hs-coburg.de/fileadmin/FB_S/Hammer/Alleinerziehende_im_Gender-Diskurs_2002.pdf). Обращение к ресурсу 02.10.2010.

**Любимова Алена Дмитриевна** –  
аспирант кафедры «Социология, социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Alyona D. Lubimova** –  
Postgraduate of the Department Sociology, Social Anthropology and Social Work  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 23.07.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 316.72

**Л.Н. Максимова**

## **СОЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ В СОВРЕМЕННОМ РОССИЙСКОМ ОБЩЕСТВЕ**

*Рассматривается структура профессиональной культуры в современном российском обществе. Анализируются факторы, влияющие на формирование профессиональной культуры. Приводится авторское определение профессиональной культуры.*

Профессиональная культура, профессия, профессиональное развитие, профессионализм

**L.N. Maximova**

## **SOCIAL DEVELOPMENT OF PROFESSIONAL CULTURE IN MODERN RUSSIAN SOCIETY**

*The article presents the structure of professional culture in modern Russian society. Different factors are considered in the paper to analyze the diversity of the phenomenon. The aim of the article is to give the definition of professional culture.*

Professional culture, profession, professional development, professionalism

Профессиональная культура есть в каждой профессии, независимо от того, в общественном или частном секторе экономики она находится. Она включает совокупность специальных теоретических знаний и практических умений, связанных с конкретным видом труда<sup>1</sup>. Это определение уточняет В. Межуев, который считает, что профессиональная культура – совокупность норм, правил и моделей поведения людей<sup>2</sup>, и, следовательно, относительно замкнутая система, связанная со спецификой деятельности людей в современных условиях труда.

Кроме того, говоря о профессиональной культуре, необходимо ввести такое определение, как профессиональная стратификация, детально рассмотренное в трудах П. Сорокина. Он считает, что профессия – это «обычно длящееся занятие индивида, дающее ему средства к существованию»<sup>3</sup>. В основе научного труда П. Сорокина «Социальная мобильность» лежит теория социальной стратификации, в структуре которой рассматриваются низшие и высшие профессии<sup>4</sup>. Итак, существование профессиональной стратификации устанавливается из двух основных групп фактов. Очевидно, что определенные классы профессий всегда составляли верхние социальные страты, в то время как другие профессиональные группы всегда находились у основания социального конуса. Важнейшие профессиональные классы не располагаются горизонтально, то есть на одном и том же социальном уровне, а накладываются друг на друга.

С другой стороны, феномен профессиональной стратификации обнаруживается и внутри каждой профессиональной сферы. Профессиональная стратификация, таким образом, проявляется в этих двух основных формах: в форме иерархии основных профессиональных групп (межпрофессиональная стратификация) и в форме стратификации внутри каждого профессионального класса (внутрипрофессиональная стратификация)<sup>5</sup>. Возьмем ли мы область сельского хозяйства или промышленности, торговли или управления, или любые другие профессии, занятые в этих сферах люди стратифицированы на многие ранги и уровни: от верхних рангов, которые осуществляют контроль, до нижних, которых контролируют и которые по иерархии подчинены своим «боссам», «директорам», «авторитетам», «менеджерам», «шефам».

Согласно теории социокультурной динамики П. Сорокина, на формирование культуры влияют объективные и субъективные факторы<sup>6</sup>. Придавая большое значение культуре общества и считая, что современная ему культура находится в кризисе, он полагал, что в основе человеческой активности и деятельности лежат ценности. Взяв за основу концепцию П. Сорокина, мы склонны считать, что, в свою очередь, объективные и субъективные факторы влияют и на профессиональную культуру. К объективным факторам мы относим государственную политику в сфере труда, профессионально-квалификационную структуру общества, профессиональные приоритеты и предпочтения, степень усвоения демократических ценностей, совокупность социально-профессиональных отношений, признание профессионального мастерства. Это выражается в заинтересованности общества увеличить количество профессионалов, обозначить профессионально значимые отрасли для развития экономики, поддержать профессиональные сообщества приоритетных для страны отраслей экономики, а также в особенности партнерских связей на рынке труда и стимулировании профессионального мастерства в виде наград, премий и почестей. Общая и профессиональная культура, профессиональное образование, профессиональная идентификация, мотивация труда и ценностные ориентации, профессиональные знания и профессиональный стаж, а также профессиональное призвание относятся к субъективным факторам. Они характеризуются повышенным вниманием к личности профессионала, к выбору профессиональной деятельности, к процессу вхождения личности в профессию, к построению карьеры, готовности повышать свою квалификацию и совершенствовать свое профессиональное мастерство.

Все вышеперечисленные факторы находятся в тесной взаимосвязи и взаимозависимости. Как видим, объективные и субъективные факторы профессиональной культуры помогают раскрыть профессиональное развитие личности и способствуют формированию профессионализма как характеристики профессионально-трудовой деятельности и фактора формирования профессиональной культуры.

Профессиональное развитие личности не сводится лишь к совершенствованию ее внутренних психологических структур. Профессионализация личности является неотъемлемой составной частью ее социального и культурного развития. Н. Крылова считает, что практическое решение вопросов

<sup>1</sup> Мудрик А.В. Социализация и смутное время. М., 1990.

<sup>2</sup> Межуев В.М. Современное знание о культуре. СПб., 2008.

<sup>3</sup> Сорокин П. А. Система социологии: в 2 т. М., 1993. Т. 2. С. 182.

<sup>4</sup> Сорокин, П. Человек. Цивилизация. Общество. М., 1992. С. 356.

<sup>5</sup> Сорокин, П. Социальная стратификация и мобильность // Питирим Сорокин. Человек. Цивилизация. Общество. (Серия «Мыслители XX века»). М., 1992. С. 322.

<sup>6</sup> Сорокин П. Социальная и культурная динамика. М., 2006.

профессионализма и профессионального развития человека во многом зависит от возможностей философского осмысления этих проблем, изучение которых для отечественной социальной науки приобретает особую значимость<sup>1</sup>. Будучи важнейшей социальной характеристикой личности и качеством человеческой трудовой деятельности, профессионализм представляет собой не только психологическую и этическую, но главным образом социальную проблему.

Интересно будет продолжить применение парадигмальных подходов для рассмотрения профессионализма с социологической точки зрения, а именно: позитивистские толкования, критическое знание, герменевтический подход. Это семантическое и концептуальное поле соотносимых понятий поможет исследовать его сущностные характеристики и сформулировать авторское определение профессионализма как основного фактора профессиональной культуры.

Одной из важнейших движущих сил социальной динамики, согласно структурному функционализму, становится профессионализм как сложное, многоаспектное явление, предполагающее «общее здоровье социального тела»<sup>2</sup>, усиление социальной активности личности и повышение степени ее ответственности как за собственную судьбу, так и за эффективность экономических процессов в обществе. Р. Мертон<sup>3</sup>, исследуя профессионализм, акцентировал внимание на институциональном альтруизме, а именно бескорыстии, которое он относил к образцу профессионального поведения. Моральным долгом, по его мнению, должен обладать каждый профессионал, делая при этом для клиента гораздо больше, чем необходимо по роду его профессиональной, трудовой деятельности.

Атрибутивный подход характеризуется повышенным вниманием к профессиональной компетентности. Представители этого подхода, начиная с 1915 г., пытаются определить список атрибутов профессионализма, которые бы соответствовали идеальному типу профессионала. Д. Миллерсон перечисляет следующие атрибуты профессионала, демонстрируя нормативную (идеальную) модель<sup>4</sup>: занятость на основе применения навыков, базирующихся на теоретическом (системном) знании; специализированное образование и обучение этим навыкам; особая компетентность, гарантированная сданными экзаменами; наличие определённого кодекса поведения, обеспечивающего профессиональную идентичность; исполнение формально очерченных служебных обязанностей на благо общества; членство в профессиональной ассоциации.

Н. Смелзер считает, что термин «профессионал» означает знание и любовь человека к своему делу. Все профессионалы ... придерживаются определённых принципов... Многие профессионалы имеют высокий статус, преданы своему делу и чувствуют удовлетворение от работы. Полупрофессионалы ... имеют «промежуточный» статус и могут иметь некоторый дискомфорт на работе»<sup>5</sup>. Таким образом, важную роль в профессионализме играют профессионально-этические ценности, профессиональное призвание и служение в профессии, которые определяют поведение представителей профессии в сфере трудовой деятельности. Только профессионалы и профессионализм формируют основу профессиональной культуры. Формальное наличие диплома не является показателем уровня профессиональной культуры, так как отсутствует интерес к развитию и формированию профессиональной культуры.

Макроуровень изучения проблем профессиональной культуры зародился в работах интеракционистов. Например, согласно теории черт Г. Беккера профессионализм, вслед за профессией, можно рассматривать в качестве обычного социального ярлыка, возникшего в сфере разделения труда<sup>6</sup>. Данное смещение акцентов позволило сторонникам интеракционистской парадигмы выступить с критикой образа действий профессиональных групп, часто прибегая к обнародованию примеров поведения специалистов, не совместимого с этическим кодом. В то же время сами интеракционисты не выдерживают критических замечаний в свой адрес. Наиболее значимыми «недочетами» этого научного подхода можно считать сосредоточенность их анализа на микроуровне в ущерб макросоциологическим исследованиям<sup>7</sup>; отсутствие основательной эмпирической базы, а также практически полное отсутствие рассмотрения структурной и исторической подоплеки, объясняющей привилегии профессий с точки зрения дохода, статуса и власти.

Сформулируем определение профессионализма в рамках позитивистского подхода. Профессионализм – способность осуществлять профессиональную деятельность на основе профессиональной компетентности, профессиональной этики, а также умения постигать, сохранять, производить и транслировать новые культурные ценности в профессиональной деятельности. Профессионализм –

<sup>1</sup> Крылова Н.Б. Формирование культуры будущего специалиста. М., 1990. С. 19.

<sup>2</sup> Durkheim E. *The Division of Labor in Society*. N.Y., 1933.

<sup>3</sup> Merton R.K. *Social Research and Practicing Professions*. Cambridge, Massachusetts, 1982.

<sup>4</sup> Millerson G. *The Qualifying Associations: A Study in Professionalization*. L., 1964.

<sup>5</sup> Смелзер Н. Социология: пер. с англ. М., 1997. С. 511.

<sup>6</sup> Беккер Г. аутсайдеры: социологическое исследование отклоняющегося поведения. М., 1994. С. 23.

<sup>7</sup> Saks M. *Professionalism and Health Care // Sociological Perspectives on Health, Illness and Health Care*. Oxford, 1998. P. 104.

это индикатор профессиональной культуры, обозначающий качество человека, способного эффективно применять теоретические и практические знания в трудовой деятельности.

Критический подход, включающий марксистское, неомарксистское и неовеберинское направление, тесно взаимосвязан с понятием «профессионализм». В контексте данного подхода подразумевается контроль над организацией работы и контроль над потребностями клиентов<sup>1</sup>. Исследование Л. Болтански и Л. Тевено<sup>2</sup>, работающих в рамках социологии критической способности, позволяет нам сделать вывод о том, что после «бури и натиска» 60-х термин «профессионализм» приобретает расплывчатый смысл и становится универсальной категорией. Представители неовеберинского подхода М. Ларсон и Э. Эбботт<sup>3</sup> считают, что профессионализация – это процесс, целью которого является достижение статуса профессии. Статус профессионала, в свою очередь, позволяет профессиональной группе отстаивать свои интересы в области зарплаты, профессионального статуса и властных структур.

Принципы профессионализма исподволь насаждаются, используя терминологию М. Фуко, теми репрессивными «телами власти», что патронируют и муштруют во вверенной их опеке сфере, пытаясь претворить ее в образцовое «дисциплинарное пространство», – и вряд ли профессиональные стандарты способны вырабатываться без жесточайшей пристежки к довлеющим механизмам надзора и подчинения<sup>4</sup>. Сразу возникает круг вопросов, связанных с самим определением профессионализма и его изменением в различные периоды истории культуры.

Процесс профессионализации описывается<sup>5</sup> как серия конфликтов между разными профессиональными видами деятельности или между профессиональными видами деятельности и общественностью. Ярлык «профессионала», по мнению Т. Щепанской, становится условностью, которая приобретает и определяется социально-рыночным успехом и свободно конвертируется только внутри профессионального сообщества или социального института<sup>6</sup>. В настоящий момент термин «профессиональность» зачастую подменяется термином «технологичность», что, на наш взгляд, не одно и то же.

Анализируя множество различных профессиональных традиций, Т. Щепанская пришла к выводу о некоторых общих для них элементах – стереотипах поведения, знаковых системах, мотивах неформального дискурса и структурах межличностных взаимоотношений<sup>7</sup>. С точки зрения их социальной прагматики, эти элементы выступают в качестве средства конструирования статуса профессионала, при этом весь комплекс профессиональных традиций распадается на две группы: отношения «профессионал – объект деятельности» и «профессионал – сообщество».

Современные исследователи продолжают активно проводить исследования и в рамках критического подхода. Некоторые из них считают<sup>8</sup>, что профессионализм утратил свойство исключительного и редкого явления. Профессионализм теперь ожидается от всех и повсюду. Но хотя понятие «профессионал» и было подвергнуто существенному переопределению, все же смыслы статусных привилегий, специализированных компетенций, автономии и доверия отнюдь не исчезли полностью из его семантического поля. Определение профессионализма во многом согласуется с моделями государства всеобщего благосостояния Г. Эспинг-Андерсона<sup>9</sup>.

Сформулируем авторское определение профессионализма в рамках критического подхода. Мы считаем, что профессионализм – способность согласовывать свою профессиональную деятельность с нормативными требованиями профессионального сообщества, потребностями клиентов на основе социального и этического самоопределения специалиста.

В рамках герменевтического подхода, соответствующего понимающей социологии, активно работал М. Вебер<sup>10</sup>. Он полагал, что профессионализм основан на профессиональной системе уникальных знаний. Для поддержания и признания авторитета профессионалов он советовал придать профессиональной компетенции статус автономности. В основе исследовательских работ С. Квале<sup>11</sup>

<sup>1</sup> Johnson, T. Professions and Power. L., 1972. P. 58.

<sup>2</sup> Болтански Л., Тевено Л. Социология критической способности // Журнал социологии и социальной антропологии. 2000. Том III. № 3. С. 66-83.

<sup>3</sup> Abbot A. The Sociology of Work and Occupation // Annual Review of Sociology. 1993. Vol. 19. P. 187-209.

<sup>4</sup> Штомпка П. Социология. Анализ современного общества: пер. с польск. С.М. Червонной. М., 2005. С. 412.

<sup>5</sup> Сало Е. Трехкомпонентная модель изучения социального статуса врачей традиционной медицины // Антропология профессии: границы занятости в эпоху нестабильности / под ред. П. Романова, Е. Ярской-Смирновой. М., 2012. С. 197.

<sup>6</sup> Щепанская Т.Б. Антропология профессий // Журнал социологии и социальной антропологии. 2003. № 1. С. 23.

<sup>7</sup> Там же. С. 141.

<sup>8</sup> Ярская-Смирнова Е., Романов П. Те самые профессии: шкалы престижа и рамки публичности // Антропология профессий: границы занятости в эпоху нестабильности: сб. науч. ст. / под ред. П. Романова, Е. Ярской-Смирновой (Библиотека Журнала исследований социальной политики). М., 2012. С. 12.

<sup>9</sup> Esping-Andersen G. The Three Worlds of Welfare Capitalism. Cambridge: Polity Press, 1990.

<sup>10</sup> Вебер М. Наука как призвание и профессия // Избранные произведения: пер. с нем. М., 1990.

<sup>11</sup> Квале С. Исследовательское интервью. М.: «Смысл», 2003.



и И. Гофмана<sup>1</sup> применительно к профессионализму упоминаются гармония, взаимопонимание и взаимодействие. Микроуровень изучения профессионализма как фактора профессиональной культуры сводится к «субъективизации» профессии, то есть, на первый план анализа выдвигается рефлексивное содержание профессиональной деятельности (удовлетворённость работой, профессиональное самочувствие, профессиональный выбор, профессиональные ценности)<sup>2</sup>. По Э. Хьюзу, основа профессионализма – это взаимодействие, в результате которого меняется способ человеческого поведения. Желание сделать карьеру является определяющим мотивом<sup>3</sup>. Мотив очень важен, именно он способствует формированию и обретению профессиональной идентификации и получению статуса профессионала.

Опираясь на теоретические основания герменевтического подхода, сформулируем определение профессионализма. Профессионализм – гармоничное взаимодействие субъектов профессиональной деятельности, стремящихся к социальной активности, имеющих высокий уровень профессиональной идентификации и способных нести ответственность за результаты осуществляемой ими профессиональной деятельности.

Несмотря на кажущуюся равноценность и взаимозаменяемость понятий «профессионализм» и «профессиональная культура», они значительно отличаются друг от друга. На наш взгляд, понятие «профессионализм» раскрывает операциональную особенность любой профессионально-трудовой деятельности. Профессионализм многогранен и может быть одновременно результатом профессиональной деятельности, характеристикой этой деятельности и основным фактором формирования профессиональной культуры.

Для индивида принадлежность к определённой профессии означает, с одной стороны, идентификацию с какой-либо значимой целью, придающей смысл всей его жизни, а с другой – является собой некий достаточно объективный критерий личных достижений. Профессиональная организация означает, что сами специалисты осуществляют в известных пределах контроль над ресурсами и привилегиями. Это даёт основания рассматривать профессиональные знания как своего рода собственность. И, наконец, каждая профессия старается четко ограничить круг вопросов, относящихся к компетенции специалистов в своей области профессиональной деятельности.

Профессиональная деятельность как один из важнейших видов человеческой деятельности нашла отражение в трудах ведущих представителей социальной философии и социологии. Подходы к выявлению сущности профессиональной деятельности, обусловленной общественным разделением труда, развиваются в традициях, заложенных К. Марксом<sup>4</sup>, Э. Дюркгеймом<sup>5</sup> и М. Вебером<sup>6</sup>. Исторически сложившиеся формы общественного разделения труда обуславливают социальную потребность в профессионалах, способных выполнять определенные виды профессиональной деятельности.

Э. Хьюз утверждает, что во всех человеческих обществах труд является объектом моральных правил и социального контроля. Кроме того, в наши рассуждения о профессионализме и профессионально-трудовой деятельности уместно включить понятие рациональности, то есть деятельность на основе науки и знания технологий в своей области, и следования моральному обету, профессиональной этике. Профессиональная структура, согласно М. Веберу, различается в зависимости от степени развития типичных профессий вообще; уровня профессиональной стратификации и специализации; уровня и способа профессиональной стабильности и подвижности. В состав профессии, по его мнению, включается любое занятие, дающее заработок. М. Вебер, в отличие от современного понимания профессии, которое требует обязательного «общественного признания», считал, что профессиональная деятельность должна в первую очередь отвечать требованиям индивида в обеспечении средств к существованию, и только потом – потребностям общества. Постоянство занятия, необходимость обучения, уровень квалификации, характер применяемых способностей являются атрибутами «стабильных» профессий. В современном обществе профессиональная деятельность призвана отвечать не только требованиям индивида, но и потребностям общества. В результате ценностные ориентации труда деформировались. Появившаяся коммерциализация трудовых и профессиональных отношений способствует прагматизации ценностных трудовых ориентаций. Самое главное – это добиться успеха и приобрести профессиональный имидж. Понятия имиджа и профессионализма часто рассматриваются как равнозначные.

<sup>1</sup> Гофман И. Представление себя другим в повседневной жизни. М., 2000.

<sup>2</sup> Александрова Т.Л. Методологические проблемы социологии профессий // Социс. 2000. № 9. С. 42; Т.Л. Александрова. Методологические проблемы социологии профессий // Социологические исследования. 2000. № 8. С. 11-17.

<sup>3</sup> Хьюз Э.Ч. Институциональная должность и персона // Социальные и гуманитарные науки за рубежом. Сер.11. Социология. 2003. № 4. С. 133-134.

<sup>4</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Капитал // Собр. соч. 2-е изд. М., 1991. Т. 23.

<sup>5</sup> Дюркгейм Э. О разделении общественного труда. Метод социологии. М., 1991.

<sup>6</sup> Вебер М. Наука как призвание и профессия // Избранные произведения: пер. с нем. М., 1990.

Имидж, так же как профессионализм, имеет свои критерии, его можно оценить по количеству приглашений, числу поклонников, индексу цитируемости или упоминаемости в СМИ, тиражу, количеству посещений, кроме того, коммерческому успеху и личному благосостоянию. Соответственно можно сделать вывод о том, что в современной профессиональной культуре происходит девальвация ценностей. Интеллектуальность в данном контексте также теряет свое истинное первоначальное значение, речь, скорее, идет о статусе полученного образования, владении символами и языком интеллектуальной среды. Ценным становится узнавать цитаты, видеть и различать культурные знаки.

С новыми тенденциями изменяется также внутренняя структура профессионализма. Иерархия упраздняется, её заменяют системы, в которых компетенция становится важнее статуса. Как считает С.А. Дружилов, профессионализм человека – это не только достижение им высоких производственных показателей<sup>1</sup>, но и особенности его профессиональной мотивации, система его устремлений, ценностных ориентаций, смысла труда для самого человека.

Обратимся к восприятию проблематики формирования отношения к профессионально-трудовой деятельности по материалам вторичного эмпирического исследования. В нашем вторичном анализе мы используем массив эмпирических данных, который был получен в ходе социологического исследования отношения к труду, трудовой деятельности в различных странах. Исследование проводилось в 31 стране мира. Время проведения полевого этапа исследования в России с 20 по 24 января 2006. Исследование проведено Левада-центром. Выборка – стратифицированная по демографическим показателям респондентов и типам населенных пунктов N=1600. Мы будем сравнивать отношение к трудовой деятельности в нескольких странах и интерпретировать результаты с точки зрения мотивированности и ценностного восприятия профессиональной деятельности. Анализ будет основан на сравнении культурных стереотипов граждан различных стран о профессиональной деятельности.

Из всего списка стран (более 30 в оригинальном исследовании) мы выбрали несколько, которые, на наш взгляд, позволяют контрастно увидеть различия в отношении к профессиональной деятельности. При этом мы оставили в списке несколько стран, являющихся типичными представителями образа западной профессиональной культуры (Великобритания, Канада, США, Швеция). Кроме этого, мы оставили в списке сравниваемых стран Россию и Болгарию. Последняя интересна для нас с точки зрения раскрытия отличительных особенностей, если таковые существуют, профессиональной культуры бывшей социалистической страны, интегрированной в европейское сообщество.

Один из первых исследовательских вопросов касается отношения к трудовой профессиональной деятельности как таковой. Нас интересует то, какое место эта деятельность занимает в жизни респондентов по отношению к иным видам деятельности – семье, домашним делам, досугу, общению с друзьями. Респондентам задавался вопрос о том, как они распорядились бы дополнительным свободным временем, какой из предложенных областей их жизни они хотели бы уделять больше времени, чем сейчас, чему – меньше, а чему – столько же времени, сколько сейчас? Ответы на этот вопрос, на наш взгляд, позволяют увидеть различия в отношении к трудовой деятельности в выбранных для сравнения странах.

Наличие статистически значимых смещений в ответах респондентов позволяет говорить о том, что респонденты из Болгарии значительно отличаются от респондентов остальных стран. Они гораздо чаще говорят о том, что хотели бы работать гораздо больше – около 41%. В остальных странах этот вариант ответа выбирают намного реже (максимальный процент ответа – 11% в США). С точки зрения регулирования рабочего времени мы имеем три группы. Первая группа представлена Болгарией. Значительная часть респондентов этой группы желает увеличения продолжительности рабочего дня и, соответственно, заработков. Вторая группа представлена США, Россией и в меньшей степени Великобританией. Изменения касаются уменьшения по сравнению с Болгарией доли респондентов, желающих работать больше, и удовлетворенности текущим распределением времени между различными видами деятельности. При этом Россия по распределению ответов практически совпадает с распределением для США. И наименьшее желание в увеличении рабочего времени свойственно представителям еще одной группы – Канады и Швеции. Мы понимаем, что на ответы респондентов влияют не только их субъективные оценки необходимого для трудовой деятельности времени, но и иные параметры профессиональной деятельности – удовлетворенность содержанием и характером работы, профессиональный опыт, возраст, профессиональные нормы поведения. В таблицах приведены проценты по столбцу и стандартизированные остатки, которые свидетельствуют о наличии или отсутствии статистически значимого смещения относительно ожидаемой частоты ответов.

Другим аспектом отношения к профессиональной деятельности является отношение респондентов к профессиональной деятельности с точки зрения соотношения ее значимости как источника

<sup>1</sup> Дружилов С.А. Профессионализм субъекта труда: интегративный подход // Ежегодник Российского психологического общества: материалы 3-го Всерос. съезда психологов: в 8 т. СПб., 2003. Т. 3. С. 154.

не только финансов, но и творческих вызовов, профессионального развития и не только. В опросе респондентам предлагалось ответить на вопрос о том, рассматривают ли они свою профессиональную деятельность только как источник денег или это отношение имеет более сложную структуру. И в этом случае респонденты из Болгарии существенно отличаются от остальных стран. Почти 80% из них отвечают утвердительно на этот вопрос, значительно опережая остальные страны по доле согласных с этим утверждением. При ответе на этот вопрос наиболее близко к такому отношению к работе имеют респонденты из России (примерно 50%). Опрошенные граждане оставшихся стран существенно отличаются в восприятии работы в этом аспекте.

Наш тезис об отличии ситуации в Болгарии и России от ситуации в западных странах подтверждают и ответы на вопрос «Получаете ли Вы удовольствие от оплачиваемой работа даже в случае, когда не нуждается в деньгах?». И вновь ситуация в России и Болгарии отличается от ситуации в других странах. Граждане Болгарии и России (несколько в меньшей степени) гораздо реже говорят об удовлетворенности трудом в тех случаях, когда эта удовлетворенность не обусловлена материальным вознаграждением.

Следующая часть нашего исследования посвящена выяснению тех факторов, которые влияют на степень удовлетворенности своим рабочим местом, качеством профессиональной деятельности респондентов. Мы используем технику множественного линейного регрессионного анализа, определяя те факторы, которые влияют на то, насколько удовлетворен респондент ситуацией в его профессиональной деятельности, качеством той инфраструктуры, которая его окружает. В качестве факторов мы рассматриваем индикаторы, которые характеризуют не только отношение к работе и рабочему окружению, но и позволяют оценить значение трудовой деятельности в жизни общества.

Характерной группой, которые представлены в нашей классификации, являются Россия и Болгария, у которых относительно высока доля удовлетворенности от того, насколько интересна работа и, соответственно, относительно низко значение фактора возможного продвижения по служебной лестнице. Вторая группа представлена англосаксонскими странами Великобританией и США, в которых ценится возможность индивидуальной поддержки, которую можно оказать другим людям, но отсутствует заинтересованность в абстрактной пользе обществу, которое не персонифицировано и не представлено конкретными людьми, объектами поддержки. Особняком стоят такие страны как Швеция и Канада. В первой существуют достаточно сильные социальные гарантии, поэтому отсутствует фактор сохранения рабочего места – высокие стандарты трудовой деятельности и социальной защиты позволяют не опасаться потери работы. Для Канады же отличительной особенностью является минимальное среди всех стран влияние размера заработной платы на удовлетворенность работой.

Мы можем сделать вывод о том, что совокупность представлений о профессиональной деятельности в виде системы индикаторов, имеющих отношение к комплексу профессиональной культуры, различаются достаточно существенно в различных странах. Мы можем говорить о типологии, которая в определенном смысле согласуется с теорией моделей государства всеобщего благосостояния Г. Эспинг-Андерсона, но имеет непосредственное отношение к социальному самочувствию профессионала в его трудовой деятельности. Основываясь на классификации Г. Эспинг-Андерсона, согласно которой поведение профессионалов в значительной степени зависит от социальной политики государства, можно выявить три типа отношения к профессиональной деятельности. К первому типу профессиональной деятельности отнесем бывшие страны социологического лагеря, к которым принадлежат Россия и Болгария. Они характеризуются высокой долей моральной удовлетворенности работой, при условии, если она интересна. При этом желание возможного продвижения по служебной лестнице не является решающим фактором при выборе места работы. Приоритет отдается служению обществу как таковому. Ко второму типу профессиональной деятельности отнесем англосаксонские страны с либеральной моделью социальной политики (Великобритания и США). Для них нетипично абстрактное служение обществу. В этом случае превалирует персонифицированное служение конкретным людям либо конкретным объектам служения. Третий тип профессиональной деятельности присущ странам, для которых типична универсалистская модель государства всеобщего благосостояния (Швеция, Канада). Согласно этому типу нет необходимости сохранять рабочее место и благодаря высокому уровню социальных государственных гарантий отсутствует боязнь безработицы.

Таким образом, комплекс стереотипов о работе, о том, ради чего необходимо формировать профессиональную траекторию различается от страны к стране, формируя различные представления о профессиональной культуре.

На понятие профессиональной культуры и профессионализма в современном обществе значительно влияет тенденции менеджериализма. Г. Хэнлон утверждает<sup>1</sup>, что в этом случае профессионализм вслед за профессиональной культурой находится под влиянием трех факторов. Первый из них – это нали-

<sup>1</sup> Hanlon G. Professionalism as enterprise: service class politics and the redefinition of professionalism // Sociology. 1998. № 32 (1). P. 43-63.

чие технического знания, которое позволит осуществлять профессиональную деятельность, но само по себе не гарантирует успешного продвижения по карьерной лестнице. Ко второму фактору относятся управленческие навыки, т.е. способность управлять другими сотрудниками и работать с клиентами. Предпринимательские знания и опыт относятся к третьему фактору. По Г. Хэнлону, профессионализм – это своеобразное поле действия противоборствующих сил репрофессионализации и депрофессионализации.

Г.Н. Соколова полагает, что в своем единстве понятия «культура» и «профессионализм» отражают многоаспектность и динамичность профессиональной культуры как социального феномена<sup>1</sup>. Степень владения профессиональной культурой выражается в квалификации, которую условно можно разделить на формальную (удостоверенную сертификатом об окончании определенного учебного учреждения, который подразумевает систему необходимых для данной профессии теоретических знаний) и реальную квалификацию. Относительно новым является постепенное осознание того, что образованность и компетентность – это не свойство товара – рабочей силы, а личный «человеческий капитал», вкладываемый работником в капитал организации. Это означает, что профессиональная культура не только производит стоимость, но и увеличивает капитализацию организации, в которой мы работаем, не говоря уже о репутации, имидже, положении на рынке.

Профессиональная работа отличается от непрофессиональной тем, что может быть подвергнута системному анализу. С его помощью могут быть выявлены: структура профессиональной деятельности; профессиональные подсистемы нижнего уровня; надсистемы, включающие анализируемую; выявлены и описаны связи и отношения как внутри системы, так и вне ее. Конечно, эти критерии являются временными соглашениями, и часто бывает, что считавшееся любительством, самодеятельностью, андеграундом приобретает профессиональные формы и становится законодателем моды в профессиональной сфере<sup>2</sup>, однако общее требование системной связи и системного подобия анализируемой сферы деятельности с другими сферами деятельности остается.

В современном обществе перед гуманитарными профессиями «человек-человек» встает задача – научиться брать моральную ответственность и за себя, и за организацию, и за творческие и управленческие решения, и за реализацию этих решений. Поэтому ключевой процесс здесь – это «процесс «кастомизации» (от англ. customization) – ожидаемый результат проектируется совместно с заказчиком, обязательно учитывая его граничные условия»<sup>3</sup>. По мнению екатеринбургских исследователей, престижность профессий как теоретический конструкт во многом связана с уровнем необходимого образования и доходом, который получают профессионалы благодаря уровню доверия к своей деятельности<sup>4</sup>. Известно, что объективность в оценке профессионализма и профессиональной культуры личности возможна при наличии и использовании различных параметров. К ним можно отнести показатель владения практическим контролем и самоконтролем результативности, показатель профессионального сознания и самосознания, адекватности его поведения в различных «производственных» ситуациях<sup>5</sup>. Умение описывать и анализировать свои действия и результаты, профессиональный успех и возможные неудачи являются критерием наличия профессионализма и профессиональной культуры личности в процессе трудовой деятельности.

Продолжая нашу мысль о том, что на формирование профессиональной культуры влияют особенности самой профессии, объективные и субъективные факторы, мы можем констатировать, что профессиональная культура, кроме этого, формируется под влиянием внешних и внутренних факторов. К внешним факторам, которые находятся за пределами профессии и влияют на нее, относятся престижность профессии в обществе, тенденции в профессиональном образовании, профессиональная (образовательная) стратификация общества, тенденции формирования профессионализма, социальные условия трудовой деятельности, сохранение, производство и трансляция культурных ценностей. Внешние факторы находят свое проявление в конкуренции, опыте профессиональных сообществ, совокупности теоретических и практических знаний профессионала, которые находят свое воплощение в формировании профессиональной культуры. Они влияют на внутреннюю структуру профессии и профессионального сообщества.

К внутренним факторам мы относим социокультурное пространство профессии, особенности профессиональной деятельности, информационно-коммуникативную составляющую профессии,

<sup>1</sup> Соколова Г.Н. Культура труда в социальном развитии рабочего класса. Минск, 1984. С. 86.

<sup>2</sup> Прохоров Е.П. Введение в теорию журналистики. М., 2000. С. 46.

<sup>3</sup> Управление персоналом / под ред. Т. Ю. Базарова, Б. Л. Еремина. М., 2001. С. 12.

<sup>4</sup> Профессиональный имидж и престиж социальной работы: монография / М.В.Певная, Ю.Р.Вишневецкий, Я.В.Дидковская, Н.Б.Качайнова. Екатеринбург, 2011

<sup>5</sup> Блинова М.Г., Большова А.И. Основные составляющие профессионализма социального работника // Социальная работа в условиях кризиса: социальные аспекты связи поколений: материалы 2-й Всерос. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 22 апр. 2010 г. / под ред. Н.Ю. Масленцевой, С.Д. Пономарева; ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т». Екатеринбург, 2010. С. 11.

профессиональное сообщество, индивидуальный профессиональный опыт, профессиональный этос, профессиональную компетентность. Они проявляются в процессе профессионализации, в связях с общественностью, общении с коллегами из профессионального сообщества, мотивации труда. Приоритетным фактором профессиональной культуры, который объединяет внешние и внутренние, субъективные и объективные факторы, является профессионализм.

Таким образом, анализ социального конструирования профессиональной культуры в современном российском обществе показывает, что намечается определенная динамичная тенденция в развитии стремления совершенствоваться в профессиональной сфере, в сфере трудовых отношений, системе ценностных ориентаций личности, что, в свою очередь, способствует повышению уровня профессиональной культуры. Опираясь на проведенный нами анализ профессиональной культуры с точки зрения позитивизма, понимающей социологии и феноменологии, а также на факторный анализ профессиональной культуры, мы склонны определить профессиональную культуру как социокультурный феномен, который отражает индивидуальное восприятие окружающего мира, выражающееся в специфических ценностных установках, с одной стороны, и владении профессиональными знаниями, навыками и умениями – с другой. Профессиональная культура характеризуется взаимосвязью объективных и субъективных, внутренних и внешних факторов, основой которых является профессионализм как основополагающий фактор и совокупность профессионального знания, профессионального этоса, призвания, внутреннего смысла, направленного на субъекта профессиональной деятельности с целью постижения, сохранения, производства и трансляции новых культурных ценностей в профессиональной деятельности.

**Максимова Лариса Николаевна** – докторант кафедры «Социология, социальная антропология и социальная работа» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Larisa N. Maximova** – Postgraduate Department of Sociology, Social Anthropology and Social Work Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 17.08.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 304.444

**Н.И. Мельникова**

### **МЕТРИКИ СОЦИАЛЬНЫХ МЕДИА КАК СОЦИАЛЬНЫЙ КАПИТАЛ**

*Рассматриваются метрики социальных медиа и их прагматическое использование как социального капитала. Существует ряд сетевых сервисов для измерения онлайн-социального капитала. Наиболее популярными метриками социальных медиа предоставляет проект Klout Score. Использование онлайн-социального капитала будет увеличиваться, что потребует разработки метрик национальных социальных сетевых сервисов.*

Социальный веб, социальные медиа, социальный сетевой сервис, метрики социальных медиа, социальный капитал, онлайн-нетворкинг

**N.I. Melnikova**

### **SOCIAL MEDIA METRICS AS THE SOCIAL CAPITAL**

*Deals with social media metrics and their pragmatic use as the social capital. There are a number of network services for the measurement of online social capital. The most popular social media metrics provide the Klout Score project. Using the online social capital will increase which will foster development of the metrics for the national social network services.*

Social web, social media, social networking service, social media metrics, social capital, online networking

Термин *социальные медиа* используется для описания набора инструментов в компьютерных сетях, которые способствуют взаимодействию людей, обсуждению различных тем, совместному созданию контента и организации виртуальных сообществ.

Развитие социальных медиа связано с так называемым Web 2.0, или социальным вебом (Social web). Термин Social web был введён Г. Рейнгольдом в 1998 г. одновременно как технологический и социальный термин [6]. Развитие же данного типа веба обусловлено появлением через некоторое время так называемых Web 2.0 технологий, которые содействовали простым в использовании, интересным и полезным социальным взаимодействиям в сети. Концепция Web 2.0 появилась только в 2004 г. на совместном мозговом штурме издательства O'Reilly Media и компании MediaLive International. Разработанные со временем новые сетевые сервисы объединили два термина, появившиеся в разное время: Social web и Web 2.0, которые стали фактически синонимами.

Также можно сказать, что социальные медиа являются множеством, состоящим из социальных сетевых сервисов (*Social Networking Service, SNS*). Социальные сетевые сервисы стали разрабатываться сразу же после появления компьютерных сетей. Наиболее ранняя форма социальных взаимодействий в компьютерных сетях представлена сервисом Usenet, который был создан 1970 г., т.е. за два десятилетия до появления главного сервиса Интернета – World Wide Web (WWW, Web). При этом необходимо отметить, что Web замыслился его создателями именно как социальный сервис, способствующий профессиональному общению физиков в области высоких энергий. Поэтому исследователи по всему миру сразу начали писать о потенциальном влиянии сетевых сервисов на социальную структуру общества, на социализацию человека. Социальные сервисы сменяли друг друга, но предсказываемых изменений в обществе не происходило. Только с момента создания сайтов социальных сетей начался процесс формирования личного социального киберпространства, способствующего социализации человека и общению, когда началась буквально переплавка социальных отношений в глобальном масштабе. Перенос социальных взаимодействий в компьютерные сети, возникновение онлайн-нетворкинга породили глобальную связанность людей. Для них технологии Web 2.0, стали тем же самым, что и сервис WWW для компьютерных документов.

Термин «*социальная сеть*» (*social network*) ввёл в 1954 г. социолог Дж. Барнс в работе «Классы и группы в норвежской островной общине» [4]. В настоящее время произошла терминологическая подмена, когда словосочетание «социальная сеть» стало отождествляться с «сайтом социальной сети». Социальные сети всегда существовали, а технологии их создания и поддержки находятся в зависимости от имеющихся коммуникационных технологий. Первым официально признанным сайтом социальной сети является SixDegrees.com, который был запущен в 1997 г. Название SixDegrees отсылает к известной книге С. Милграма «The Small World» [5]. В 1967 г. Милграм ввёл термин «*малый мир*» (*small world*) в результате эксперимента, установившего, что каждый человек в США соединён с каждым короткой последовательностью социальных связей, средняя длина которой составляет 6 человек. Выборка Милграма была сравнительно небольшой, но результаты дерзкого эксперимента стали рассматриваться как данность.

Серия широкомасштабных ответных экспериментов была проведена спустя несколько десятилетий, в начале 2000-х гг. [8]. Всего было задействовано 100 000 пользователей электронной почты, которых попросили послать письмо одному из 18 человек целевой аудитории в 13 странах мира через перенаправление сообщения знакомым. Было обнаружено, что успешный социальный поиск осуществляется преимущественно с использованием социальных связей средней силы и не требует использования сильно связанных «хабов». В случае неуспешного социального поиска люди излишне полагаются на профессиональные связи. Эксперимент показал, что глобальная социальная сеть существует и, в принципе, она пригодна для поиска, но успешный поиск существенно зависит от мотивированности людей. Этот эксперимент феноменально подтвердил результат С. Милграма, но не помог разрешить главный вопрос о том, сколько людей знают свою социальную сеть, которую они могли бы использовать. Кроме того, в экспериментах Милграма количество завершённых последовательностей составило 13%. Современные эксперименты по исследованию малого мира показали, что схема стала ещё более жесткой. Завершённые последовательности имели длину, равную 4, но только 0,4% начавшихся последовательностей достигли цели.

Сеть SixDegrees открыла эпоху *онлайн-социального нетворкинга*, который рассматривается как установление и развитие взаимосвязей между людьми с помощью сетевых социальных сервисов. Технологии онлайн-нетворкинга постоянно развиваются. В настоящее время онлайн-социальный нетворкинг осуществляется различными технологиями, включая: социальные сети общего

назначения; исследовательские сервисы; нишевые социальные сети; научные социальные сети; сетевые игры и виртуальные миры; блоги; сервисы размещения фотографий и видео; социальные закладки.

Количество пользователей социальных сетевых сервисов позволяет говорить о достижении переломного момента в вопросе массового принятия идеи онлайн-нетворкинга. По данным корпорации Cisco, ежемесячный Интернет-трафик постоянно значительно возрастает. В 2007 г. объём трафика составлял 5 экзбайт, в 2010 г. – 21 экзбайт, а в 2013 г. по имеющимся оценкам объём трафика возрастёт до 56 экзбайт [3]. Но значительный рост Интернет-трафика связан, прежде всего, с передачей личной фото- и видеоинформации, т.е. с технологиями социального веба и онлайн-социального нетворкинга [13].

Онлайновый социальный нетворкинг является недетерминированным децентрализованным процессом, когда пользователи самостоятельно формируют свое информационное, социальное окружение. Возникновение онлайн-социального графа изменяет формы накопления социального капитала. Каждый имеет человеческий и социальный капиталы, обеспечивающие ему конкурентное преимущество. Человеческий капитал включает интеллект, образование, обаяние, навыки, талант, всё то, что необходимо для достижения имеющихся жизненных целей. Подчас человеческий капитал находится за возможностями контроля со стороны человека. А взаимные отношения людей порождают социальный капитал. Социальный капитал, согласно Пьеру Бурдьё, рассматривается как агрегация действительных или потенциальных ресурсов, связанных с включением в прочные сетевые или более-менее институализированные отношения взаимных обязательств или признаний» [1].

Социальные сетевые сервисы включают механизмы представления каждого участника, отображения социальных связей и подключения дополнительных сервисов или приложений, способствующих задействию социальных связей. Сила социальных сетевых сервисов состоит в возможности поддерживать и использовать средние и слабые социальные связи, которые являются значительным источником социального капитала, что и показали новые эксперименты по исследованию «малого мира».

Самым удивительным в социальных сетевых сервисах является то, что их участники при регистрации публикуют подлинную информацию. Т.е. *профиль участника социальных сетевых сервисов* в значительной мере является идентификационной информацией человека не только в этих сервисах, но и в оффлайновой жизни. Понятие профиля участника сетевых сервисов было введено в социальной сети SixDegrees. Особенность профиля состоит в том, что в него, кроме персональной информации участника, входит информация о друзьях, поэтому онлайн-социальный нетворкинг развивается с головокружительной скоростью, что позволяет говорить о существовании глобальной социальной сети.

Становлению глобальной социальной сети во многом способствует технология *открытого графа (Open Graph)*. Это платформа Facebook, которая предоставляет партнёрским сайтам и приложениям доступ к информации о пользователях для персонализации предлагаемых им сервисов на основе выявленных интересов этих пользователей. Открытый граф добавляет новый слой к онлайн-социальному графу, который строится не только на основе личных взаимосвязей людей, но и на основе их пристрастий.

*Оффлайновый социальный граф* рассматривается как карта связей каждого человека без учёта электронных коммуникаций. *Онлайновый социальный граф* рассматривается как карта связей каждого человека, пользующегося коммуникационными сервисами Интернета. Со временем стало происходить наложение оффлайнового социального графа на онлайн-социальный граф. Это обусловливается, прежде всего, разнообразием социальных объектов онлайн-нетворкинга, т.е. элементов социальных сервисов, объединяющих людей. Социальным объектом могут являться, например, книга, фильм, спортивная игра. Социальный объект позволяет свое отношение. Если пользователи социальных сетевых сервисов начинают обсуждение горных лыж, то горные лыжи становятся социальным объектом для этих пользователей. Когда происходит объединение пользователей вокруг некоторой страницы Facebook, то она становится для них социальным объектом.

Возникновение онлайн-социального нетворкинга вызвало появление новых классов приложений. Маркетологи отслеживают действия пользователей Интернета, наблюдают за социальными объектами, запоминают клики людей, а затем создают и используют досье об особенностях их сетевого поведения. Серия документов The Wall Street Journal показала передовые технологии Интернет-слежения. В серии статей этого журнала представлены результаты анализа файлов слежения, устанавливаемых на компьютерах после посещения 50 наиболее популярных веб-сайтов США. На основе полученных данных был построен индекс экспозиции, позволяющий определить степень, в которой каждый из этих популярных сайтов делает посетителя доступным для отслеживания [13]. Информация, накопленная в результате отслеживания онлайн-поведения пользователя, соединяется с его онлайн-социальным графом для того чтобы предложить ему и его социальному ок-

ружению целенаправленную рекламу. Уже существует ряд сетевых сервисов, специально разработанных для измерения социального капитала участников социальных сервисов на основе анализа их онлайн-социальных графов.

Наиболее известным в настоящее время является сервис Klout Score, который рассчитывает так называемый индекс влияния пользователя. Исходными данными для расчёта являются количественные характеристики использования ряда социальных сетевых сервисов, включая: четыре социальные сети (Facebook, Twitter, LinkedIn, Google+); сервис видеохостинга YouTube; сервис микроблоггинга Tumblr; сервис ведения блогов Blogger; два сервиса управления и обмена фотографиями (Instagram, Flickr); система управления содержимым сайта WordPress; служба предоставления музыкальных рекомендаций Last.fm. Для каждого сетевого сервиса определяются значения некоторых переменных, раскрывающих особенности поведения человека и его окружения. Например, для Facebook подсчитывается количество комментариев, сообщений на стене и количество полученных нажатий социальной кнопки «Мне нравится». Для Twitter подсчитывается количество ретвитов и упоминаний аккаунта. Для Google+ оценивается количество комментариев, перепостов и нажатий социальной кнопки +1. В итоге пользователь получает нормированную оценку в диапазоне от 1 до 100. Пользователь также видит значения трёх метрик: True Reach (охват); Amplification (воздействие); Network (сеть).

True Reach показывает количество людей, на которых оказывается влияние. При этом отфильтровываются спам и боты, чтоб учитывать действительную аудиторию. Как правило, эти люди склонны реагировать на сообщения и распространять их.

Amplification показывает степень воздействия на людей. Когда Вы отправляете сообщение, сколько людей реагируют на него или распространяют ее дальше? Если люди часто реагируют на сообщения, это означает, что у пользователя социальной сети большое воздействие на аудиторию.

Network показывает влияние людей из окружения пользователя, насколько часто наиболее влиятельные пользователи отвечают на сообщения и распространяют их. Если они это делают, то происходит увеличение значения данного параметра.

В настоящее время сервис Klout Score обчислил уже 100 млн. пользователей Интернета. К числу партнёров Klout Score принадлежат, например, AUDI, Disney, Nike, HP, P&G и многие другие. Пионерами в области практического использования онлайн-социального капитала являются торговые организации. Примером использования сетевого социального капитала является предоставление скидок в магазине одежды GILT, соразмерных оценке Klout Score. Последняя распродажа в GILT была объявлена 6 марта всего на 36 часов. Т.е. пользоваться накопленным социальным капиталом необходимо очень быстро. Новое предложение Klout Score состоит в предоставлении возможности объединения учётных записей пользователя во всех социальных сетевых сервисах для того, чтобы успешнее монетизировать социальный капитал. Аналогичными Klout Score сервисами являются, например, PeerIndex и Kred.

Как уже указывалось, характерной особенностью онлайн-сетевого нетворкинга является возможность поиска и поддержания средних и слабых социальных связей. Технологии Web 2.0 позволяют поддерживать отношения между людьми, которые при использовании традиционных коммуникаций заканчиваются очень быстро, как например, пресловутые знакомства в поездах и самолётах. Однако в таких социальных контактах подчас кроется значительный социальный капитал. Технологии Web 2.0 позволяют сохранить возникшие слабые социальные связи и использовать их в наращивании социального капитала.

На заре развития сетевых сервисов всегда подчеркивалась возможность существовать в сети анонимно и поддерживать столько идентичностей, на сколько хватит времени и воображения. Относительная анонимность в компьютерных сетях просуществовала полтора десятилетия. Когда пользователям предложили сервис социальных сетей, теряющий свой смысл при анонимном использовании, то они не только раскрыли себя в сети как личности, но и раскрыли свое социальное окружение. Это самый неожиданный результат развития социальных сервисов. Вместо обретения невиданной доселе свободы в киберпространстве его посетители увязли в паутине плотно сплетённой социальной сети. Особенности внутреннего описания пользователя при регистрации в Facebook позволяют идентифицировать его даже после удаления исходной учётной записи и повторной регистрации. Таким образом, онлайн-социальный капитал только наращивается в социальной сети, а для его пользователей это не является очевидным. На эту особенность Facebook обратил внимание один из создателей сервиса WWW Робер Кайо: «Я могу войти [в Facebook], но я не могу выйти. Я не знаю, что происходит с моими данными» [11]. А голландский учёный А. Розендаль в 2010 г. написал статью, описывающую способы сбора и накопления данных на серверах Facebook с помощью социальной кнопки «Мне нравится» [7]. Даже если пользователь Интернета не имеет учётной записи в Facebook, но использовал эту социальную кнопку, его действия в сети с помощью специальных программ, которые



называются куки, начинают отслеживаться. А если спустя некоторое время этот пользователь зарегистрируется в Facebook, то накопленная о нём информация сразу логически подсоединяется к созданной учётной записи. Трудно найти человека, использующего Интернет, который не поддастся бы хоть раз чувствам и не нажал кнопку «Мне нравится». А этого достаточно, чтобы начал наращиваться социальный капитал, который пользователь может даже монетизировать с помощью особых сервисов, как только подключится к социальным сетям.

Наиболее популярные сайты социальных сетей в различных странах.

Источник: <http://vincos.it/world-map-of-social-networks/>

December 2011			
Countries	SNS #1	SNS #2	SNS #3
Australia	Facebook	LinkedIn	Twitter
Austria	Facebook	Badoo	Twitter
Belgium	Facebook	Badoo	LinkedIn
Brazil	Facebook	Orkut	Badoo
Canada	Facebook	LinkedIn	Twitter
Denmark	Facebook	LinkedIn	Badoo
Finland	Facebook	LinkedIn	Twitter
France	Facebook	Badoo	Skyrock
Germany	Facebook	Wer-kennt-wen	StayFriends
India	Facebook	Orkut	Twitter
Italy	Facebook	Badoo	Twitter
Japan	Facebook	Mixi	Twitter
Netherlands	Facebook	Hyves	Twitter
Norway	Facebook	LinkedIn	Twitter
Portugal	Facebook	Orkut	LinkedIn
Sweden	Facebook	LinkedIn	Twitter
Russia	Odnoklassniki	V Kontakte	Facebook
Spain	Facebook	Tuenti	Badoo
United Kingdom	Facebook	Twitter	LinkedIn
United States	Facebook	Twitter	LinkedIn

В российских проектах также стали использовать онлайн-социальный капитал. Но его применение пока ограничено особыми группами пользователей, занимающихся оптимизацией социальных медиа. Например, такое объявление: «#SMDay: время монетизировать социальный капитал. Во-первых, мы сегодня проводим наш первый эксперимент по монетизации вашего социального капитала! Только сегодня (хотя, может и не только) мы меняем ваш Klout Score (см. подробнее) на скидки на услуги smm3. Готовы проверить, сколько стоит ваш социальный капитал? Если да, то обменный пункт здесь!» [12]. Необходимо отметить, что в российских проектах, использующих онлайн-социальный капитал, применяют метрики проекта Klout Score, который не использует национальные сетевые сервисы. На основе данных компании Alexa Global Traffic Rank и Google в таблице представлены тройки самых популярных социальных сетей в ряде стран [9]. Facebook является крупнейшей социальной сетью в мире, однако доминирование Facebook не является глобальным. Из этой таблицы видно, что предпочтения российских пользователей значительно отличаются от всех прочих. В России уверенно лидирует социальная сеть Одноклассники, а мировой лидер Facebook занимает только третье место. Конкурентами Facebook в Европе являются, прежде всего, Twitter, LinkedIn и Badoo. Также необходимо отметить существование национальных сетей: Qzone (Китай); Draugiem (Латвия); Mixi (Япония); Wer-kennt-wen (Германия); Hyves (Голландия); SkyRock (франкофонные страны); Zing (Вьетнам). В связи с тем, что первые опыты прагматического использования социального капитала состоялись, с большой долей вероятности можно предположить, что эти опыты будут только расширяться, что потребует использования метрик национальных социальных сетевых сервисов на основе существующих теоретических подходов расчёта ценности сети и индексов влияния [2].

Пользователей Интернета всяческим образом подталкивают к наращиванию своего социального капитала. Социальные кнопки, в частности «Мне нравится», используются в рекламе. Социальным капиталом онлайн-нетворкинга начинают пользоваться работодатели, проверяя электронную репутацию потенциальных работников. Появились программные средства, позволяющие построить инфографическое резюме на основе данных социальных сетей. Получается быстро, красиво и

информативно. Постоянное наращивание онлайн-социального капитала пользователями социальных сетевых сервисов ведёт к беспрецедентной открытости общества. Пока эта открытость сосредоточена в возрастных группах, которые ещё не очень задумываются о той информации, которая о них накапливается, и об особенностях её использования. Но время, когда информация социальных сетевых сервисов будет очень важной в жизни человека, неизбежно настанет, и подозрительно будут выглядеть уже те, кто не имеет должного онлайн-социального капитала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Градосельская Г.В. Сетевые измерения в социологии / Г.В. Градосельская. М.: Изд. дом «Новый учебник», 2004. 248 с.
2. Губанов Д.А. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства / Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, А.Г. Чхартишвили. М., 2010. 228 с.
3. Anderson C. The Web Is Dead. Long Live the Internet / C. Anderson, M. Wolff // Wired. 2010. URI: [http://www.wired.com/magazine/2010/08/ff\\_webrip/all/1](http://www.wired.com/magazine/2010/08/ff_webrip/all/1) (дата обращения 01.06.12)
4. Barnes J. Class and Committees in a Norwegian Island Parish / J. Barnes // Human Relations. 1954. №7. P. 39-58.
5. Milgram S. The Small World / S. Milgram. N.Y.: Ablex Pub., 1989. 382 с.
6. Reingold H. The virtual community: Homesteading on the Electronic Frontier / H. Reingold. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2000. 447 p.
7. Roosendaal Arnold. Facebook tracks and traces everyone: Like this! <http://mikz.net/log/plaatjes/facebook.pdf> URI: [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1717563](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1717563) (дата обращения 01.06.12)
8. Watts D.J. Six Degrees: the science of a connected age / D.J. Watts. N.Y.: W.W. Norton, 2004. 374 p.
9. Top 15 Most Popular Social Networking Sites | April 2012. URI: <http://www.ebizmba.com/articles/social-networking-websites> (дата обращения 01.06.12)
10. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2010-2015. URI: [http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white\\_paper\\_c11-481360\\_ns827\\_Networking\\_Solutions\\_White\\_Paper.html](http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360_ns827_Networking_Solutions_White_Paper.html) (дата обращения 01.06.12)
11. It is impossible to get down and off Facebook. URI: <http://ivarfeld.wordpress.com/2010/05/15/it-is-impossible-to-get-off-facebook/> (дата обращения 01.06.12)
12. #SMDay: время монетизировать социальный капитал». URI: <http://smm3.org/headlines/social-media-day-vremya-monetizirovat-svoj-socialnyj-kapital> (дата обращения 01.06.12)
13. What They Know. URI: <http://blogs.wsj.com/wtk/> (дата обращения 01.06.12)

**Мельникова Нина Ивановна** –  
доктор социологических наук, профессор  
кафедры «Социология, социальная антропология  
и социальная работа»  
Саратовского государственного технического  
университета имени Гагарина Ю.А.

**Nina I. Melnikova** –  
Dr. Sc., Professor  
Department of Sociology, Social Anthropology  
and Social Work  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 12.07.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 94 (497)

**Ю.В. Ромашов**

#### **ГЕОПОЛИТИКА РОССИИ НА БАЛКАНАХ И ИДЕЯ СЛАВЯНСКОГО ЕДИНСТВА**

*Рассматривается обоснование активной политики России на Балканах во второй половине XIX века через идею славянского единства. Наиболее оригинальными выразителями этих взглядов были Н.Я. Данилевский и В.И. Ламанский, отводившие России главную роль в деле объединения славян. Усиление Российской империи на Балканах и главенство над южнославянскими народами, по их мнению, должно было решить ее собственные проблемы, интересы же остальных славян, как правило, ставились в подчиненное положение, несмотря на пропаганду заботы о них.*

Россия, Балканы, славянское единство, панславизм, Русско-турецкая война 1877-1878 гг., стереотипы восприятия

Yu.V. Romashov

## GEOPOLITICS OF RUSSIA IN THE BALKANS AND THE IDEA OF SLAVIC UNITY

*The article considers the rationale for an active policy of Russia in the Balkans in the second half of the 20th century through the idea of Slavic unity. The most original exponents of these views were N.Y. Danilevsky and V.I. Lamansky who set Russia a major role in unification of the Slavs. In their view, strengthening the Russian Empire in the Balkans and the supremacy over the South Slavic people were to meet the interests of the Empire, whereas the interests of the rest of the Slavs were of marginal significance despite the propaganda they were concerned about.*

Russia, Balkans, Slavic unity, Pan-Slavism, the 1877-1878 Russian-Turkish war, perception stereotypes

Идеи славянского единства, или панславизма, были характерны для российской общественной мысли и политики XIX века. Многие мыслители, государственные деятели, а также ученые обращались к данной проблеме, предлагая свои, зачастую оригинальные ее решения. Особенно острым этот вопрос стал во второй половине XIX столетия, главным образом в 60-80-е гг. в связи с ростом национально-освободительной борьбы на Балканах и оказанием непосредственной помощи Россией южнославянским народам. Одновременно с активизацией политики на Балканах и стремлением российской общественности оказать поддержку славянам в их борьбе с Турцией стали появляться концепции, в которых Балканам отводилось центральное место российской геополитике. В целом идеи славянского объединения и сотрудничества не утрачивают актуальности и в настоящее время, хотя их формы и пределы существенно изменились со времени второй половины XIX в., когда единственным независимым славянским государством была Россия.

При рассмотрении вопросов о геополитике России и славянском единстве важно обратиться к идейному наследию крупнейших русских мыслителей, обосновывавших балканское направление внешней политики и принимавших активное участие в оказании поддержки южным славянам. Среди них можно отметить Н.Я. Данилевского, И.С. Аксакова и В.И. Ламанского.

В мировоззрении, выводах и предложениях Н.Я. Данилевского, принадлежавшего по своим взглядам к славянофилам, нашли отражение соответствующие идеи со всеми их достоинствами и недостатками. В своей работе «Россия и Европа» (1871) великий русский мыслитель, философ, социолог Н.Я. Данилевский дал определение цивилизации как главной формы человеческой организации пространства и времени, выражающейся качественными началами, которые лежат в особенностях духовной природы народов, составляющих самобытные культурно-исторические типы. Н.Я. Данилевский писал: «цивилизация есть понятие более обширное, нежели наука, искусство, религия, политическое, гражданское, экономическое и общественное развитие, взятые в отдельности, ибо цивилизация все это в себя заключает»<sup>1</sup>. Данилевский выделил десять таких культурно-исторических типов.

Большое место Н.Я. Данилевский отводит идее создания Всеславянского союза. Этой теме посвящены заключительные главы книги. «Всеславянский союз есть единственная твердая почва, на которой может возрасти самобытная славянская культура – условие «sine qua non» (непременное условие) ее развития. Таков общий смысл, главный вывод всего нашего исследования»<sup>2</sup>. Всеславянский союз должен был бы состоять из следующих государств: Русской империи с присоединением к ней всей Галиции и угорской Руси, Чехо-Мораво-Словацкого королевства, Сербо-Хорватско-Словенского королевства, Болгарского, Румынского, Эллинского, Мадьярского королевств и Царьградского округа<sup>3</sup>. По мнению Н.Я. Данилевского, «с какой бы стороны мы ни подступали к делу, – Всеславянская федерация с Россией во главе, со столицей в Царьграде, – вот единственно разумное, осмысленное решение великой исторической задачи, получившей в последнее время название Восточного вопроса»<sup>4</sup>. Основной геополитической целью России Данилевский видел установление контроля над Кон-

<sup>1</sup> Данилевский Н.Я. Россия и Европа: Взгляд на культурные и политические отношения славянского мира к германороманскому. М., 2011. С. 157.

<sup>2</sup> Там же. С. 475.

<sup>3</sup> Там же. С. 466-467.

<sup>4</sup> Там же. С. 462.

стантинополем и Балканами: «рассмотрение судеб Константинополя приводит нас к одному и тому же решению Восточного вопроса – к федерации славянских народов и всех вкрапленных между ними инородных племен»<sup>1</sup>. При этом «освобожденный Константинополь, преобразенный в настоящий Царьград, должен быть сам по себе чем-то больше, нежели столицей Русского царства, в отношении же к России быть меньше этого; не должен быть с ней в слишком тесной связи, иметь такое материнское значение, на которое имеет право только одна Москва. Одним словом, Царьград должен быть столицей не России, а всего Всеславянского союза»<sup>2</sup>.

Особая роль России объясняется, с одной стороны, враждебностью Запада для славян, а с другой – могуществом и самостоятельностью самой России: «Положение славян лицом к лицу с враждебным им Западом есть та причина, которая заставляет желать для них весьма тесной федеративной связи под политическим водительством и гегемонией России, – на что Россия имеет законнейшие права как по сравнительным силам своим с прочими членами славянской семьи, так и по ее многовековым опытом доказанной политической самостоятельности»<sup>3</sup>.

Однако, как пишет Данилевский, «для политической крепости Всеславянского союза недостаточно еще бесспорного предоставления в нем России гегемонического преобладания; сами второстепенные группы или члены союза должны представлять во внутреннем своем устройстве также достаточное ручательство силы и единства»<sup>4</sup>. Важно отметить, что, несмотря на необходимость преобладания «Всеславянского честолюбия» на «честолюбием» каждого народа, входившего бы в союз, Данилевский отмечал относительно внутренних распорядков каждого из непосредственных членов союза: «Ничто не препятствует предоставить их составным частям всю желаемую степень административной децентрализации и областной самобытности»<sup>5</sup>. Если бы Россия попыталась уничтожить внутреннюю самостоятельность союзных с ней славянских народов, то «вместо сорока миллионов верных, дружественно расположенных союзников она приобрела бы сорок миллионов недовольных подданных; а насколько таковые увеличивают силы государства, имеем мы достаточно убедительные примеры на отношениях Польши к России, Ирландии к Англии, и всего более Венгрии и Венеции к Австрии»<sup>6</sup>.

В целом Н. Я. Данилевский считал, что единство славянского мира является главным условием его существования как культурно-исторического типа, а также непременным условием существования самой России: «предстоят только две возможности: или вместе с прочими славянами образовать особую, самостоятельную культурную единицу, или лишиться всякого культурно-исторического значения – быть ничем»<sup>7</sup>.

Вовлечение Балкан в российскую геополитику оставалось также в центре внимания видного русского публициста, славянофила И.С. Аксакова, игравшего важную роль в пропаганде и организации помощи балканским славянам. В одной из своих программных статей в начале 1880-х гг. И.С. Аксаков утверждал, что Россия как государство еще не закончила своего формирования и не достигла естественных границ, каковыми на юге являются проливы: «Тут южная стена нашего русского государственного дома»<sup>8</sup>. И.С. Аксаков прямо указывал, что государственные интересы России состоят в содействии славянскому тяготению, избавлении славян от возможности немецкого духовного порабощения. Идея славянства является, подчеркивал он, источником политической силы России в Европе.

И.С. Аксаков соотносил формирование славянского единства с укреплением монархических режимов в балканских славянских странах, что должно было также, по его мнению, усилить связь славянских государств с самодержавной Россией. Аксаков считал, что такое единение уже начинает осуществляться. В одной из передовых статей «Руси» он писал: «России предопределено быть естественным, законным центром тяготения славянского мира, который уже начинает слагаться и выступать именно как особый мир славянский на вселенской исторической арене. И только те славянские племена, которые не извратят в себе этого закона тяготения, которые искренно соблюдают духовную связь с Россией, могут иметь участие в будущем славянской»<sup>9</sup>.

<sup>1</sup> Данилевский Н.Я. Указ. соч. С. 461.

<sup>2</sup> Там же.

<sup>3</sup> Там же. С. 463.

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Там же. С. 465-466.

<sup>6</sup> Там же. С. 490.

<sup>7</sup> Там же. С. 475.

<sup>8</sup> Аксаков И. С. Соч. Т. 2. Славянофильство и западничество. 1860-1886. М., 1886. С. 787.

<sup>9</sup> Русь. 1881. № 47. 20 нояб.

Так же, как и Данилевский, Аксаков видел в славянском мире новый культурно-исторический тип. Однако в отличие от Данилевского Аксаков видел объединяющее начало в духовной солидарности славян. Духовный фактор, связанный с православием и заключавшийся в высшей нравственности, высоких моральных устоях, бескорыстии, взаимопомощи, самоотверженности, любви к ближнему, формировал силу славянского единства. Поэтому Аксаков видел в панславизме «присущее всем славянам сознание их славянской общности или единоплеменности», духовную солидарность и тяготение друг к другу, сознание славянского братства<sup>1</sup>. При этом объединение всех славян «в одно политическое тело и в мечтах никому не представлялось»<sup>2</sup>.

В.И. Ламанский, великий ученый, геополитик и идеолог панславизма, создатель исторической школы славистов много предпринял для формирования общественного мнения по славянским проблемам. Изучая историю славянства, В.И. Ламанский в течение трёх десятилетий разрабатывал собственную концепцию «славянской цивилизации», которую в итоге изложил в трактате «Три мира Азийско-Европейского материка». Ламанский верил в особую роль России в славянском мире и поддерживал имперскую политику государства. Идеи В.И. Ламанского соответствовали политическим интересам Российской империи, поэтому он стал одним из идеологов балканской геополитики империи. В 70-е гг. XIX в. Ламанский, являясь членом Санкт-Петербургского славянского благотворительного комитета, оказывал поддержку балканским народам, а его идеи о преимуществах России перед Западной Европой стали руководством к пропаганде «великой исторической миссии России в отношении славян».

В этническом и культурном отношении Ламанский представлял себе славянство как единое целое, составляющее «греко-славянский мир», который он противопоставлял «романо-германскому миру», «латинству». Ламанский отмечал: «Россия, получает почти полный вид особого самобытного материка только с приложением к ней остальной восточной, закарпатской и задунайской, греко-славянской Европы, которая ни судьбами своими, ни этнографическим составом, ни географическим характером, с одной стороны, не походит на западную, романо-германскую Европу, а с другой – без России, на которую опирается, не составляет одного самостоятельного целого»<sup>3</sup>.

Специфической особенностью славянского мира, по мнению учёного, являлась православная религия, греческие культурные начала, отличающиеся от римских. В единой «славянской цивилизации» Россия и её народ, как считал Ламанский, неотделимы от прочих славянских народов и земель. Он полагал, что развитие культуры до «высшего славянского этапа» приведёт к «чистому выражению народного духа».

Ламанский высказывался за объединение славян под эгидой России, так как русский народ составляет ствол всего славянского мира; русский народ представляет собой «крепкий кряж», а все прочие «инородческие» племена суть его ветви<sup>4</sup>. Ламанский писал: «Пока славянские народности не выработают себе или не примут общего литературного языка, до тех пор они вечно будут в умственной опеке немцев»<sup>5</sup>. Поэтому он считал, что, «если бог благословит их образовать федерацию, то общим органом высшей образованности может быть у них только русский язык», который должен был бы освободить южных славян от культурного воздействия европейских при этом сохранение южнославянских «наречий» необходимо было только для «местных потребностей»<sup>6</sup>. При этом он отмечал важность изучения и осмысления славянских языков в России: «не прежде и не иначе достигнет значения всемирного, как по общем распространении в России знакомства с языками и литературами славянскими и по утверждении умственного и литературного общения с ее соплеменниками»<sup>7</sup>.

Интересно отметить, что В.И. Ламанский видел в балканских славянах народы менее развитые в вопросах грамотности и местного самоуправления: «Большая часть нерусских или живущих вне России славян, т.е. из 25 млн более 13 (болгаре, сербы, отчасти хорваты, словаки), находятся в некоторых отношениях на низшей степени развития, чем народ русский»<sup>8</sup>. В целом же, говоря о не-

<sup>1</sup> Русь. 1881. № 22. 1 нояб.

<sup>2</sup> Там же.

<sup>3</sup> Ламанский В.И. Об историческом изучении греко-славянского мира в Европе // Ламанский В.И. Геополитика панславизма М., 2010. С. 82.

<sup>4</sup> Ламанский В.И. Об историческом изучении греко-славянского мира в Европе С. 95.

<sup>5</sup> Ламанский В. И. Россия – мир славянский // Вече. СПб., 2009. Вып. 19. С. 167.

<sup>6</sup> Ламанский В.И. Сербия и южнославянские провинции Австрии. (Из записок о славянских землях). СПб., 1864. С. 33-41.

<sup>7</sup> Ламанский В.И. Речь, произнесенная в С.-Петербургском университете 31 января 1860 г. при публичной защите диссертации на степень магистра: «О славянах в Малой Азии, в Африке и в Испании» // Ламанский В.И. Геополитика панславизма М., 2010. С. 41.

<sup>8</sup> Ламанский В.И. Об историческом изучении греко-славянского мира в Европе С. 94.

обходимости объединения славян под эгидой России и о неизбежном противостоянии Западу, Ламанский выступал за мирное решение этих вопросов.

Так, во второй половине XIX в. формируется научное и философское представление о славянском единстве, нашедшее отражение в трудах крупнейших ученых и мыслителей этого времени. Наиболее оригинальными и масштабными выразителями идеи славянского единства можно назвать Н.Я. Данилевского и В.И. Ламанского. Кроме общеполитических выводов о необходимости объединения славян были обозначены и основные направления по достижению этого единства. Главная особенность заключалась в том, что России как исторически наиболее могущественному из всех славянских государств и единственному независимому всегда отводилась ведущая роль в этом процессе, вследствие чего геополитическим приоритетом России становились балканские земли, населенные славянскими народами. При этом подчеркивалась важность укрепления России на Балканах и создания общеславянского государства для противостояния с Западом. Однако привлечение славянских народов в российскую политику и объединение с ними рассматривались прежде всего как средство для развития самой России и достижения ее целей. Интересы же самих балканских славян ставились в подчинение российским, хотя, безусловно, учитывались.

**Ромашов Юрий Викторович** –  
аспирант кафедры «Культурология»  
Саратовского государственного технического  
университета имени Гагарина Ю.А.

**Yuriy V. Romashov** –  
Postgraduate  
of the Department Culturology  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 08.08.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 0008:316.722:316.42

**В.А. Русанов, Ю.В. Клинаев, С.И. Замогильный, Н.А. Дикун, В.П. Санатин**

## **ДИФФУЗИЯ ТРЕВОЖНОСТИ И САМОРЕГУЛЯЦИЯ В НЕСТАБИЛЬНОМ ОБЩЕСТВЕ**

*Рассматриваются возможные пути совершенствования принципов и методов социального управления в современном российском обществе, что может обеспечить снижение уровня социальной тревожности, улучшения качества жизни граждан России и прибывающих в страну мигрантов. Все выводы и обобщения основываются на приводимых в статье материалах корреляционно-статистических социологических исследований авторами в рамках работ по российско-белорусскому проекту «Психосоциальные проблемы трудовой миграции и адаптации этнических мигрантов» – грант 10-06-01303а/Б, совместный конкурс РГНФ – БРФФИ 2010-2012 гг.*

Мигранты, миграционные потоки, национальная идентификация, толерантность, этнофобия

**V.A. Rusanov, Y.V. Klinayev, S.I. Zamogilniy, N.A. Dikun, V.P. Sanatin**

## **DIFFUSION OF ANXIETY AND SELF-REGULATION IN AN UNSTABLE SOCIETY**

*The possible ways of improving the principles and methods of social control in the modern Russian society, which can ensure reduction of the level of social anxiety, improve the living standard of the citizens and the migrants to Russia considers. All the conclusions and generalizations are based on the quoted correlation-and statistical sociological research materials presented by the authors in the framework of the Russian-Belorussian grant project «Psychosocial problems of labour migration and adaptation of ethnic migrants»: grant 10-06-01303a/B, joint competition RHF-BRFFR 2010-2012.*

Migrants, migration flows, national identification, tolerance, ethnophobia

Статья выполнена на основе социологической статистики, предоставленной Социологическим центром «РОСС – XXI век» (директор Санатин В.П.) по программе «Национальные настроения в Саратовской области», проведенных в марте 2005 г. и в октябре 2010 г. Выборка исследования: 2005 г. –

всего распространены 1250 анкет по репрезентативной областной адресной выборке г. Саратова и 9 районов области, признано действительными и обработано в компьютерной программе «ОСА-М» 1244 анкеты. 2010 г. – всего 850 анкет по репрезентативной адресной выборке г. Саратова, включающей 6 районов города.

Экономический волонтаризм и политическая неопределённость в современной России и на постсоветском пространстве являются основной причиной роста тревожности в обществе. Воплощается эта тревожность, прежде всего, в эскалации напряжённости в межнациональных отношениях как между коренными российскими народами, так и во взаимодействии с прибывающими в страну мигрантами.

После распада СССР одним из первых удивительных явлений нового, сияющего мира было намерение части политического бомонда отдельных составляющих России броситься вдогонку за бывшими союзными республиками и образовать независимые государства, даже от истории, от мнения населения, от экономической целесообразности. Успешное политическое маневрирование федерального руководства позволило избежать дальнейшего развала страны и, как теперь стало ясно, спасти население от гуманитарной катастрофы. С установлением в России относительной политической и экономической стабильности из независимых государств, входивших прежде в Советский Союз, в бывшую метрополию двинулись нескончаемые и многочисленные потоки мигрантов. При некоторой доле условности можно констатировать, что Россия сейчас вновь превращается в прежний СССР, только союзные республики оказываются размытыми, растворенными в субъектах федерации.

Тревогу российского населения вызывают мощные национальные анклавные поселения новых поселенцев в Москве, центральных областях России, на Дальнем Востоке. Практически в каждом российском регионе, в каждом муниципальном образовании существуют компактные поселения мигрантов, которые живут по своим законам и неуклонно преследуют свои интересы, вовсе не совпадающие с интересами местного населения.

Результаты социологических исследований свидетельствуют о довольно приемлемом, с позиций обыденного сознания, уровне дружелюбия по отношению к чужакам – новым поселенцам. Но именно на уровне обыденного, механистического восприятия социальной действительности. Предполагается при таком подходе, что треть населения, недружелюбно настроенная даже по отношению к русским переселенцам из стран СНГ, покорно примет мнение большинства и возлюбит их тихой и самоотверженной любовью, равно как узбеков, молдаван, вьетнамцев и прочая и прочая.

В реальной жизни именно небольшие группы недовольных теми или иными социальными фактами, явлениями будоражат общество, заражают ненавистью и нетерпимостью массы благодушных прежде граждан. Противопоставить росту нетерпимости в российском обществе нечего ни у политической власти, ни у гражданского общества. Доктрина мультикультурализма западных благоглупцов не более плодотворна, чем воспеваемые ими же однополые браки.

Статистика красноречива, даже к русским пришельцам только половина населения относится доброжелательно, а пресловутых «кавказцев» хотел бы видеть по соседству лишь каждый десятый местный житель. В неформальных беседах во время проведения опросов респонденты объясняют своё негативное отношение к русским переселенцам, а, вернее, возвращенцам из стран СНГ чаще всего экономическими причинами: «сами без работы сидим, а к нам ещё голодранцев присылают». Понятно, что в этом случае ситуацию не улучшить только проповедью толерантности.

Таблица 1

Отношение к возможным переселенцам и инациональным рабочим в Саратове (%)<sup>1</sup>

Как бы Вы отнеслись к тому, что в Вашем районе (городе) будут жить и работать (?):	2005	2010	ИДК* <sup>2</sup>
1. Русские переселенцы из стран СНГ	54	68	+14
2. Украинцы	48	57	+9
3. Молдаване	26	32	+6
4. Казахи	22	29	+7
5. Корейцы	16	17	+1
6. Узбеки	11	10	-1
7. Таджики	13	17	+4
8. Турки	12	11	-1

<sup>1</sup> Здесь и далее в таблицах приводятся только положительные оценочные позиции респондентов (в % от всех).

<sup>2</sup> ИДК\* – Интегральный динамический коэффициент, показывающий модальность (знак) и величину сдвига оценочных позиций респондентов во временном интервале.

9. Китайцы	11	10	+1
10. Кавказцы	9.7	11	+1.3

Таблица 2

Отношение к возможным переселенцам и инонациональным рабочим (социодемографический разрез) в области (2005 год)

Как бы Вы отнеслись к тому, что в Вашем районе (городе) будут жить и работать (?):	Муж	Жен	16-30 лет	31-49 лет	Более 50 лет	Ср.% область
1. Русские переселенцы из стран СНГ	55	57	53	59	56	56
2. Украинцы	40	36	45	36	34	38
3. Молдаване	25	23	27	24	22	24
4. Казахи	23	19	25	18	21	21
5. Корейцы	16	8.2	11	16	9.8	12
6. Узбеки	17	6.7	14	9.3	13	12
7. Таджики	13	6.7	9.1	7.6	12	9.8
8. Турки	10	7.8	7.9	10	8.5	8.6
9. Китайцы	11	6	5.7	11	8.8	8.5
10. Кавказцы	13	10	11	10	12	11

Переселенцы из регионов российского Северного Кавказа вызывают не только недовольство по тем же экономическим причинам, но и враждебность, страх, даже ненависть. В самых разных районах Саратовской области рассказывают истории о том, как приезжие «кавказцы» прогоняли из деревни местных жителей, сносили их дома и строили свои. Нередко описываемые случаи действительно происходят. Результатом кавказского завоевания могут быть также своеобразные гетто, за пределы которых прежние хозяева и защитники земли русской не имеют права выходить.

Поверить в существование таких социальных реалий в наше гуманизированное и поголовно интернетизированное время невозможно, пока не увидишь этнические отроги кавказских гор на русской равнине. Каждый новый поселенец, подходящий под определение «кавказец», вызывает в деревнях Саратовской области тревогу и страх. Вслед за ним могут хлынуть толпы новых гуннов и смети с лица земли их убогую, но такую привычную российскую жизнь. При этом так называемые органы местного самоуправления безмолвствуют. Нередко в муниципальных образованиях складывается парадоксальная ситуация, когда нет желающих становиться главами администраций, депутатами. Российская деревня пронизана тревогой, в конечном счёте, за национальную идентичность. В городах эта тревога затеняется пока всяческой гламурной чепухой и публичными невротическими выходками себялюбивых пассионариев.

Довольно удовлетворительный уровень толерантности, проявляющийся в самоидентификации как россиянина, характерен практически исключительно только для русских по национальности и, как правило, свидетельствует о желании сохранить целостность страны. Такой вывод можно сделать на основании личных бесед с респондентами – участниками приводимого и других исследований. Эта толерантность, по большей части, не от традиционного русского великодушия, а от страха за свою судьбу, за участь своих детей, своей страны.

Таблица 3

Психоземциональная самоидентификация населения области по признаку национальной принадлежности (%)

Как Вы чувствуете свою национальную принадлежность? (выбор 1-2 позиций)	Саратов		
	2005	2010	ИДК*
1. Считаю себя россиянином, признаю равные права всех народов в России	42	55	+13
2. Считаю себя русским, интересы русского народа ставлю выше других	27	28	+1
3. Люблю свой народ и одинаково отношусь к лицам своей и других национальностей	33	--	--
4. Доверяю больше людям своей национальности, ее интересы ставлю выше других	43	29	-14



5. Считаю национальность ложной ценностью, человек – гражданин мира	18	11	-7
---	----	----	----

Таблица 4

Психозоциональная самоидентификация населения области по признаку национальной принадлежности (социодемографический разрез) (2005 год)

Как Вы чувствуете свою национальную принадлежность? (выбор 1-2 позиций)	Муж	Жен	16-30 лет	31-49 лет	Более 50 лет	Ср.% область
1. Считаю себя россиянином, признаю равные права всех народов в России	56	50	59	45	56	53
2. Считаю себя русским, интересы русского народа ставлю выше других	35	37	36	38	34	36
3. Доверяю больше людям своей национальности, ее интересы ставлю выше других	23	29	29	26	23	26
4. Считаю национальность ложной ценностью, человек – гражданин мира	18	15	16	15	18	16

Таблица 5

Восприятие национальной идентичности через призму индивидуальной судьбы<sup>1</sup>

Как Вы считаете, Ваша судьба зависит от Вашей национальной принадлежности?	Саратов		
	2005	2010	ИДК
1. Да	26	34	+8
2. Нет	50	41	-9
3. Затрудняюсь ответить	24	25	+1

Таблица 6

Восприятие национальной идентичности через призму индивидуальной судьбы (социодемографический разрез) (2005 год)

Как Вы считаете, Ваша судьба зависит от Вашей национальной принадлежности?	Муж	Жен	18-30 лет	31-50 лет	Более 50 лет	Ср.% область
1. Да	32	36	37	32	33	34
2. Нет	32	37	34	35	32	34
3. Затрудняюсь ответить	36	27	29	33	35	32

Таблица 7

Потенциал культурно-бытового национализма в области (Всего анкет 1244. Без ответа 11)

Ваше отношение к ценностям культуры и воспитания лиц других национальностей:	Саратов		
	2005	2010	ИДК*
1. Уважение и интерес	44	51	+7
2. Опасение и неприятие	9.7	9	-0.7
3. Безразличие	23	25	+2
4. Затрудняюсь ответить	23	15	-8
ИНДЕКС КБН <sup>2</sup>	+34		

Таблица 8

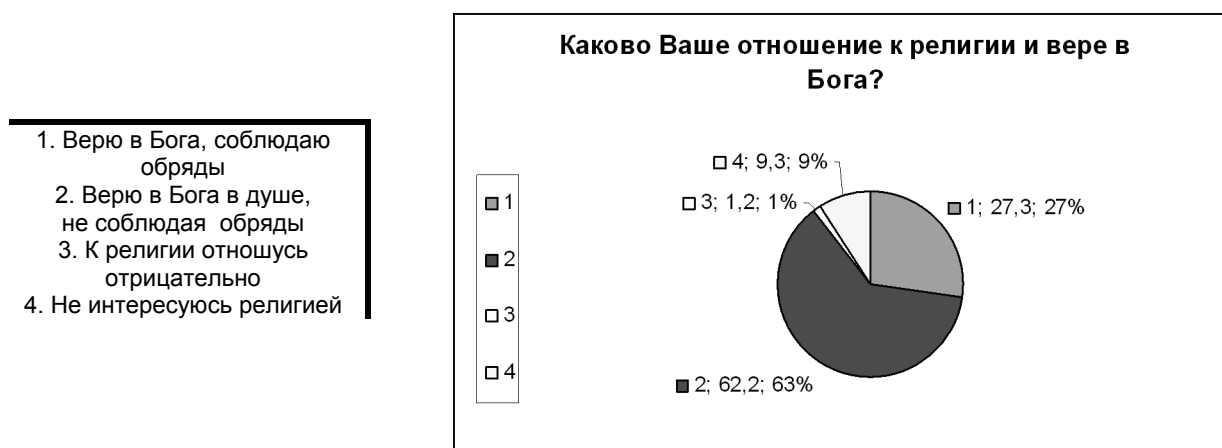
Потенциал культурно-бытового национализма в области (социодемографический разрез) (2005 год)

Ваше отношение к ценностям культуры и воспитания лиц других национальностей:	Муж	Жен	18-30 лет	31-50 лет	Более 50 лет	Ср.% Область
1. Уважение и интерес	29	30	28	33	29	30
2. Опасение и неприятие	16	13	18	16	11	15

<sup>1</sup> Показатель национальной солидарности и сплоченности по признаку идентификации индивидуальной судьбы с этнонациональной принадлежностью.

<sup>2</sup> Индекс КБН\* (ИКБН\*) – интегральный показатель культурно-бытового национализма, рассчитываемый как разность положительных (уважение и интерес) и отрицательных (опасение и неприятие) оценочных позиций респондентов.

3. Безразличие	35	32	32	30	38	33
4. Затрудняюсь ответить	20	25	22	21	22	22
ИНДЕКС КБН*	+13	+17	+10	+17	+18	+15



Отношение к религии жителей Саратовской области

Кажущийся рост позитивного отношения к мигрантам обусловлен именно в нынешней социально-психологической ситуации не изменениями в стереотипах поведения пришлого населения, этим в России не умеют и не хотят заниматься, а покорностью местного населения своей участи.

Сейчас федеральные и региональные власти заметно усилили своё взаимодействие с религиозными структурами, всячески вовлекая Российскую Православную Церковь и Мусульманскую умму в сферу политики. Религия как некий сверхконцентрат культуры и жизненного опыта играет колоссальную роль в жизни людей, в том числе и тех, кто считает себя атеистами. Следует, однако, представлять разницу между духовностью, наследуемой поколениями, и реальными людьми и социальными группами, ситуативно представляющими эту духовность в конкретном обществе. Статистика отношения к религии жителей Саратовской области вполне применима и к оценке ситуации в стране.

Две трети населения, признавшие, что веруют в Бога, но обрядов не соблюдают, отличаются от воцерковлённых людей тем, что религия для них – не основа системы личностных ценностей, не руководство на все случаи жизни, а своего рода оправдание собственных поступков. Для большей части российского и сообществ множества других государств религия выступает в качестве своеобразного катализатора социальных процессов. Общество слегка верующих, слегка социализировавшихся людей. Религия может служить оправданием как жуткого террора, геноцида, так и некоего гипергуманизма со всеми переливами спектра в этом диапазоне. Религиозный фундаментализм, фанатизм, социальное равнодушие, духовная слепота и пресловутая политкорректность – в сущности, проявления одного и того же феномена – каталитического воздействия религии, религиозного мировоззрения на общества отчасти верующих людей. Таким образом, поддержка определённых религиозных организаций и движений является выражением потребности органов государственного и муниципального управления и интересов гражданского общества в расширении спектра ресурсов социального управления и необходимостью научной рефлексии процессов религиозного ренессанса в современном российском обществе, анализа критериев эффективности направления социальных изменений. Социальная политика ведущих, наиболее развитых экономическом и политическом аспектах государств, неожиданно привела мировое сообщество в состояние духовного, этического организационно – управленческого кризиса. Идеология мультикультурализма, социальная практика самодовлеющей толерантности и так называемой «политкорректности» создали для человечества не меньше проблем, чем в своё время национализм, политический тоталитаризм и религиозная нетерпимость.

Резкая смена общественно-политического режима в России в начале 90-х привела к активизации масштабных и глубоких трансформационных процессов на всем постсоветском пространстве, наиболее значительным следствием которых стало прекращение попыток создания жесткой и вместе с тем эффективной централизованной системы общественного регулирования. Самые различные социально-политические факторы способствовали изменению вектора развития современного российского общества на построение общественных отношений, основанных на принципах демократии и гражданского общества. Результатом общественно-политических трансформаций становится формирование качественной иной социальной структуры, представляющей собой неоднородное социальное пространство, состоящее из множества социальных групп, имеющих специфические интересы и потребности. В условиях децентрали-

ции и единой идеологической базы, способной обосновать и определить логику функционирования и взаимодействия социальных субъектов, актуализируется потребность формирования в обществе системы саморегулирования и самоуправления. Эта легитимная и органичная по своему происхождению система нужна для предотвращения резких, пагубных для общества и трагичных для людей энтерогенных социальных потрясений. Её элементы должны быть способны осознавать существование проблемной ситуации, находить и обсуждать и мобилизовывать необходимые ресурсы внутренней и внешней социальной среды для решения как узкогрупповых, так и общезначимых задач.

На общецивилизационном уровне, однако, уже давно ясно, что в своём развитии и обновлении Россия с поразительной точностью повторяет все блуждания, рысканья по курсу, которые сопровождали развитие ныне передовых стран и сообществ в более или менее отдалённом прошлом. «Дикий капитализм» с его полным пренебрежением к правам и свободам людей, безудержным стремлением громить всё и вся и прочие огорчительные «болезни роста» социально ориентированного правового государства – всё это переживается Россией вновь и вновь, как будто и не было многовековой мировой истории. Отсюда берёт начало и эпидемическая вспышка тревожности, рост кликушеских эсхатологических настроений в стране.

Возрождение религии, религиозной культуры, религиозного мировоззрения и постепенное утверждение принципов саморегулирования поведения человека на основе религиозных заповедей представляется значимым показателем уровня развития гражданских отношений в российском обществе. Россия, вероятно, смогла преодолеть кризис духовности, характерный для многих западных обществ, и опередила их в духовном развитии на диалектический виток социальной эволюции. В этом случае тревожности и этнофобские страхи в обществе – не более чем угасающие со временем возмущения социальной среды, вызванные нелинейностью процессов социальных преобразований.

Недооценивается влияние религиозных представлений на процессы самоуправления в отдельных сообществах и в обществе в целом. Религия, церковные организации, приходы, мусульманские объединения, умма сейчас признаются чем-то вроде идеологических отделов партийных комитетов. Речь при этом идёт не о реставрации бывших некогда принципов социального бытия, а об изменениях в обществе под влиянием религии. Система социального управления и самоуправления, с одной стороны, репрезентирует сложившийся комплекс институтов и отношений между ними в масштабе российского общества, отражая доминирующие ценности и потребности. С другой стороны, она закладывает долгосрочные тенденции развития ситуации в силу осуществляемых функций воспроизводства социальной структуры посредством трансляции системы знаний и убеждений будущим членам общества. Таким образом, влияние религиозных, в широком понимании духовных начал на состояние самоуправления в обществе выступает индикатором, который позволяет зафиксировать настоящее и прогнозировать перспективное состояние гражданского общества в российском социокультурном контексте.

**Русанов Виктор Алексеевич** – кандидат философских наук, доцент кафедры «Гуманитарные науки» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Viktor A. Rusanov** – Ph. D., Associate Professor of the Department Humanities Engels Institute of Technology, (Part) Gagarin Saratov State Technical University

**Клинаев Юрий Васильевич** – доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Yuriy V. Klinayev** – Dr. Sc., Professor of the Department Technical Physics and Information Technologies Engels Institute of Technology, (Part) Gagarin Saratov State Technical University

**Замогильный Сергей Иванович** – доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой «Гуманитарные науки» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergey I. Zamogilniy** – Dr. Sc., Professor Department of Humanities Engels Institute of Technology, (Part) Gagarin Saratov State Technical University

**Дикун Наталья Александровна** – аспирант кафедры «Гуманитарные науки» Энгельсского технологического института

**Natalia A. Dikun** – Postgraduate of the Department Humanities

(филиала) Саратовского государственного  
технического университета имени Гагарина Ю.А.

Engels Institute of Technology,  
(Part) Gagarin Saratov State Technical University

**Санатин Владимир Петрович** –  
кандидат философских наук, директор Центра  
социальных исследований Фонда «РОСС-XXI ВЕК»,  
г. Саратов

**Vladimir P. Sanatin** –  
Ph. D., Director  
of the Centre for Social Research  
Foundation «ROSS-XXI CENTURY», Saratov

*Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 0008:316.722:316.42

**В.А. Русанов, Ю.В. Клинаев, С.И. Замогильный, Н.А. Дикун, В.П. Санатин**

### **КУЛЬТУРА И ПОЛИТИКА В ПРОЦЕССЕ ГАРМОНИЗАЦИИ МЕЖЭТНИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ<sup>1</sup>**

*Рассмотрены некоторые аспекты социальной динамики современного российского общества, определяемой миграционными процессами. Межкультурные взаимодействия мигрантов и местного населения протекают в условиях кризисного развития экономики и пока ещё непривычного для большинства населения обилия противоречивой информации, ориентированной на манипулирование общественным мнением. Сохранение политической стабильности и социально-психологического благополучия российского общества зависит сейчас от релевантного сочетания политических решений и практики межкультурного сосуществования в уникальном полиэтничном сообществе Российской Федерации. В статье приводится разнообразный и обширный материал социологических исследований и выявленных трендов по актуальным проблемам современных миграционных процессов.*

Мигранты, миграционные процессы, социальная динамика, тренд, политическая стабильность

**V.A. Rusanov, Y.V. Klinaev, S.I. Zamogilny, N.A. Dikun, V.P. Sanatin**

### **CULTURE AND POLITICS IN THE PROCESS OF HARMONIZATION OF INTER-ETHNIC RELATIONS**

*This article discusses some aspects of the social dynamics of contemporary Russian society stipulated by the migration processes. Intercultural interaction between the migrants and local population occur in the context of economic crisis, and the abundance of conflicting information focused on the manipulation of public opinion, which was so far unfamiliar to the majority of the population. Political stability, social and psychological well-being of the Russian society now depends on a combination of relevant policies and practices of intercultural coexistence in a unique multi-ethnic community of the Russian Federation. The article provides a varied and extensive material for sociological research on pressing issues of modern migration.*

Migrants, migration, social dynamics, political stability

Гости в доме бывают порой обременительны. Мигранты, пришельцы практически всегда вызывают в обществе отторжение и недовольство, несмотря на возможные экономические выгоды от применения их труда, несмотря на существующие в обществе обычаи гостеприимства или насаждаемые хорошие манеры политкорректности и толерантности. Негативная эмоциональная аура ярче у

<sup>1</sup> Статья выполнена в рамках Программы Российского гуманитарного научного фонда (РГНФ), грант 10-06-01303а/Б и БРФФИ (в Республике Беларусь зарегистрирован под № Г10Р-028).

пришельцев определённых этносов, её яркость зависит и от благополучия социальной общности, вынужденной поглощать переселенческие потоки.

Настоящей трагедией миграционные процессы оборачиваются в тех случаях, когда недавние незваные гости становятся хозяевами локальной социальной жизни или демонстрируют стремление к доминированию. В этом стремлении к доминированию заключается главная причина кровопролитных стычек, жестоких войн или долговременных, тлеющих конфликтов. Благополучная Британия, вечно мятущиеся Балканы, веками непонятные страны и народы Азии, Африки хронически больны социальной инфекцией этнокультурных междоусобиц.

Россия, объединив славянские княжества, ассимилировав малочисленные этносы, дошла от Балтики до Тихого океана, судя по письменным источникам прежних и недавних времён, никогда не сомневалась в своих правах на земли и людские ресурсы татар, удмуртов, аварцев, якутов и множества других народов. Глобализация принципов гуманизма и демократии, кроме благостного торжества либерализма, приводит мировое сообщество к гораздо менее благостному стремлению обособиться, выпрыгнуть из клеток привычных государств и создать свои райские национальные хоромы. Политики и политологи, националисты и космополиты, в конечном счёте, оставляют многонациональным государствам два пути: тотальная, гомогенизирующая ассимиляция или беспредельное дробление на изящные политические миниатюры – продукты распада больших материнских стран.

Вполне вероятно, существует и ещё какой-либо менее тревожный и менее затратный путь решения этнополитических проблем. Возможно, даже не один. Концепцию политического регулирования национальных проблем, однако, можно строить только на материковой породе общественного сознания различных социальных групп и общностей, удалив зыбкие пески сиюминутных барханов общественного мнения. В поисках такого пути, разумеется, все полимаршрутные карты – в руки социологии.

Саратовская область на протяжении уже двух десятков лет постсоветского реформирования демонстрирует удивительные интегрирующие особенности. Результаты многочисленных и разнообразных социологических исследований по Российской Федерации всегда очень точно совпадают с результатами исследований, проведённых среди населения области. Представляется в силу этого допустимым использовать результаты локальных исследований для моделирования ситуации в федеральном масштабе. В результате исторического процесса миграций и освоения и расселения в Поволжском регионе в Саратовской области проживают представители 112 национальностей. Национальное многообразие саратовской земли наиболее отчетливо выражено в ее этнолингвистической картине.

Индоевропейская семья представлена в основном народами славянской группы. К ним относятся: русские – 2302,4 тыс. человек, украинцы – 101,8 тыс. человек, белорусы – 17,7 тыс. человек и другие (по данным переписи 1989 года). Русские и украинцы начали заселять Поволжье в XVI и XVII веках после включения его в состав Русского государства (1552-1556 гг.). Начало переселения белорусов – XIX век. Миграции немцев в Поволжье начались при Екатерине II во второй половине XVIII века. Второе место по численности в нашей области занимают представители алтайской языковой семьи. К ней относятся такие народы, как казахи, татары, чувашаи, башкиры, азербайджанцы, узбеки. Татары проживают на саратовских землях со времен Золотой Орды. Чувашское население появилось в Нижнем Поволжье в XVII веке. Казахи и башкиры стали селиться в нашей области в XX веке. Самым первым по упоминаниям в исторических документах является мордва, расселившаяся здесь, вероятно, в начале нашей эры и явившаяся этническим субстратом многих разноязыких этнических общностей.

Динамика численности украинцев показывает высокий уровень их ассимиляции при условии соседства очень родственного по языку, культуре, психологии и судьбе народа. По переписи 1989 года в области проживало более 100 тысяч лиц украинской национальности, а в 2002 – уже только 67,3 тыс. Данное снижение связано с быстрой ассимиляцией среди русских. В настоящее время максимальная доля украинцев (около 25 %) отмечается в Самойловском районе, в то время как несколько десятилетий назад в том же районе 70% идентифицировали себя как украинцы. В то же время 30 % населения Саратовской области имеют украинские фамилии или имеют украинские корни.

Татары компактно проживают в Саратовском, Петровском, Базарно-Карабулакском, Дергачёвском, Ершовском, Пугачевском районах, в которых имеются 10 татарских и 19 смешанных населённых пунктов. С 1992 года в Саратове существуют достаточно уникальные образования, такие, как татарская гимназия и детский сад, а национально-культурная автономия татар создана в еще 1997 году. Эффективно работает татарский культурный центр, татаро-башкирское культурно-просветительское общество «Идель», исламский центр Поволжья «Дава» и культурно-просветительское общество «Исламский призыв». Регулярно выходят газета «Мусульманский вестник» (Саратов), телепередача «Аллаху акбар».

Миграционные движения в области имеют сложную динамику и разнонаправленный характер. В область прибывают больше мигрантов, чем покидают ее. Естественный прирост населения в Саратовской области отрицательный, поэтому миграционный приток и покрывает естественную убыль населения, и обеспечивает его рост в целом по области.

Эффективность социального управления в полиэтнической среде зависит не от численности того или иного этноса, не от пространственной его дислокации, а от показателей динамики регионального сообщества, проявляющихся в результате взаимодействия отдельного этноса со всем сообществом как системой. Самюэль Хантингтон заметил по этому поводу:

Таблица 1

Выборочная статистика численности этносов, для которых характерны тенденции их численной динамики

Этносы	1989	2002	2010
Украинцы	101832	67257	41942
Армяне	6404	24976	23841
Чуваши	20613	15956	12261
Мордва	23381	16523	10917
Белорусы	17771	12675	8489
Немцы	17068	12093	7579
Курды	72	2268	2851
Евреи	8054	3428	2250
Дунгане	5	47	760

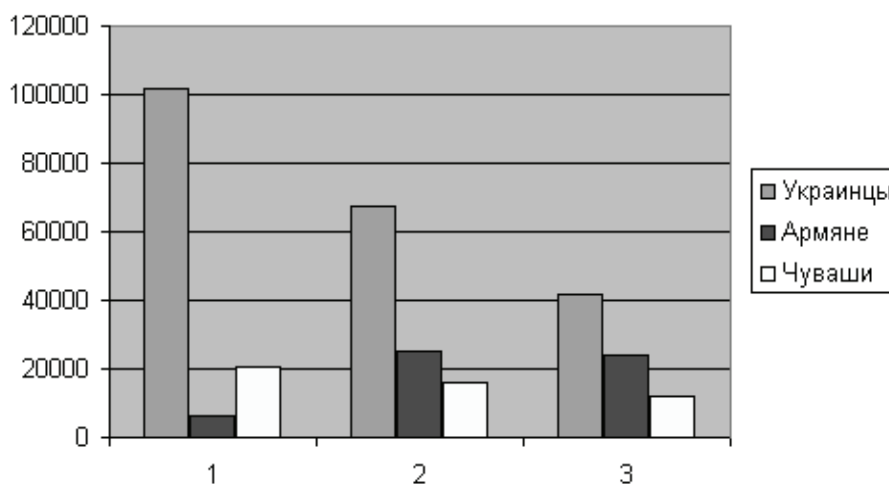


Рис. 1. Выборочная статистика численности этносов, для которых характерны тенденции их численной динамики (украинцы, армяне, чуваш)

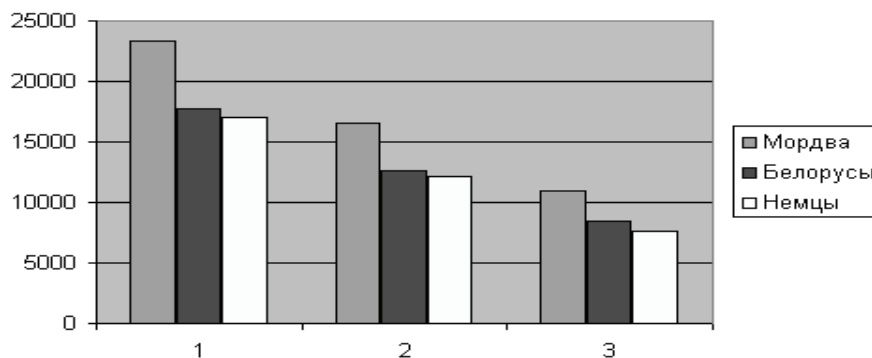


Рис. 2. Выборочная статистика численности этносов, для которых характерны тенденции их численной динамики (мордва, белорусы, немцы)

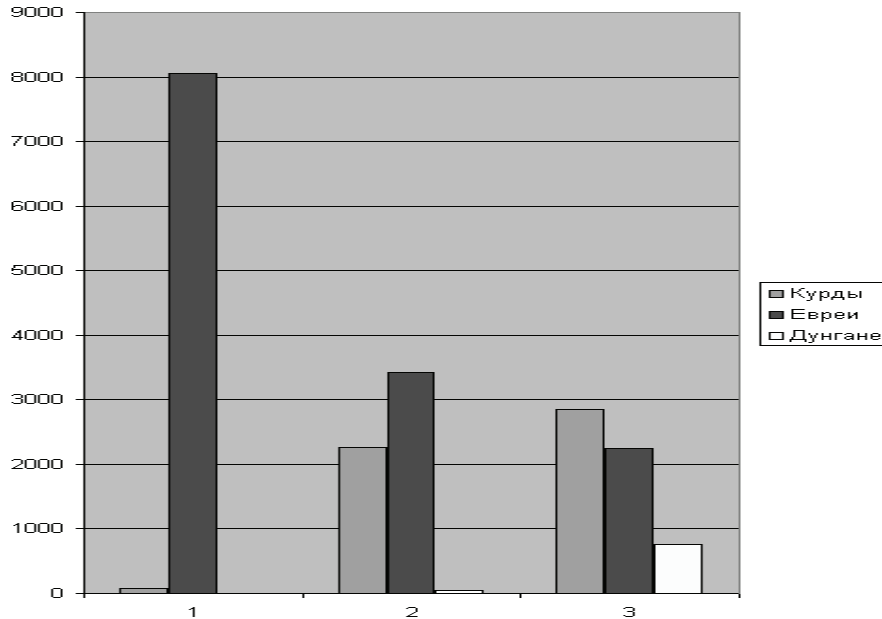


Рис. 3. Выборочная статистика численности этносов, для которых характерны тенденции их численной динамики (курды, евреи, дунгане)

«Более важны для ассимиляции не культура общества, к которому принадлежали иммигранты, а их личные мотивы и характеры. Люди, которые более или менее добровольно решают покинуть родную страну и перебраться в другую, сильно отличаются от тех, кто подобного решения не принимает»<sup>1</sup>.

На примере Саратовской области можно убедиться, что весьма отличные по культуре и языку от основной массы населения казахи и дунгане практически бесконфликтно приживаются в региональном сообществе, а практически русскоязычные выходцы из Дагестана порождают массу конфликтов. Схематизируя личностную мотивацию мигрантов, можно с известной долей условности утверждать, что казахи и дунгане приезжают жить и работать, а уроженцы Дагестана – пережить тяжёлые времена на своей родине и подзаработать любыми способами. Соответственно и подходы в работе с определёнными диаспорами и методы социального управления органами региональной власти и местного самоуправления должны быть специфичными, подобранными для конкретной ситуации.

Тенденции изменения численности населения за последние 20 лет, что видно из диаграмм, таковы.

Первая диаграмма: численность украинцев снизилась в 2,5 раза, что может быть объяснено ассимиляцией этнических украинцев среди, в основном, русского населения, что обусловлено историческими причинами, родственностью культур и ментальностью славянских народов. Может, даже уместен в этом контексте личный пример одного из авторов этой работы, предки которого по материнской линии были переселенцами из Галиции и Ахтырки Полтавской губернии, и деды по паспорту являлись этническими украинцами, а уже родители были идентифицированы как русские. Хотя на бытовом уровне вплоть до последних лет сохранён украинский язык как средство общения и сохранения музыкально-певческой культуры.

Зато численность армян выросла почти в 4 раза, что, безусловно, связано с политическими и экономическими коллизиями региона исхода, и толерантной привлекательностью, исторически сложившейся в Саратовской области.

Категория «толерантность» (в этническом аспекте) обеспечивает аксиологические установки позитивного взаимодействия с другими национальными формами культуры, расширяет круг личностных ценностных ориентаций, которые, как правило, выражаются в готовности или неготовности взаимодействовать с представителями иных национальностей. Степень данного состояния базируется на целом комплексе оценок, на понимании своего местонахождения в социокультурном пространстве, на представлении о моральном порядке, формирующемся в соответствии с набором культурно-специфических критериев оценки собственного поведения и поведения других»<sup>2</sup>. Последующая логика может быть принята как методологическое основание анализа социологических аспектов толе-

<sup>1</sup> Хантингтон С. Кто мы? М., 2004, С. 296-297.

<sup>2</sup> Истомина О.Б. О типах этнической идентичности // Социологические исследования. 2011. № 11. С. 62.

рантности. В задачу социологии входит только дать человеку знания, с помощью которых он приходит к пониманию происходящего, ставит перед собою цели и делает свой выбор. Поставленная своеобразная задача выявления тех ценностных оснований, которые двигают человеком, позволяет определить толерантность как социологический феномен и один из важнейших параметров ценностного отношения как к другому человеку, так и к представителю другого этноса. Таким образом, толерантность в межэтнических отношениях может быть определена как форма гармонизации межнациональных взаимодействий на индивидуальном и межгрупповом уровнях. Данные ценностные основания и являются как раз той «скрытой реальностью», которая проявляет себя на поверхности социума и только указывает на необходимость описания именно этой объективной реальности.

Отсюда вывод о невозможности создавать регулирующие материалы только на основании эмпирического материала, т.к. они формируются в глубинах самой личности. Толерантность – ценностная социально-социологическая идея, а поскольку реальность культуры возникает в связи с фундаментальным качеством человека присваивать миру смысл и значение, осмыслять окружающую реальность, необходимо при исследовании этой реальности находить связь ее проявлений с первичным качеством человеческого бытия, проявляющегося в создании ценностей.

Численность чувашей снизилась почти в два раза, что вероятнее всего, связано с резким снижением прироста населения, традиционно проживающего в сельской местности.

Вторая диаграмма: численность мордвы снизилась более чем в 2 раза, по причинам тем же, что и для чувашского населения области. Белорусы уменьшили свою численность в 2 раза, что связано и с ассимиляцией, и с миграцией их на свою историческую родину – республику Беларусь. Немецкое население области выросло к 1989 году в 4 раза по отношению к 1959 году за счёт возвращения из Казахстана и Сибири выселенных немцев и их потомков в Саратовскую область, которая признавалась малой российской родиной немцев. В 2010-2012 гг. немецкое население уже уменьшилось в 2,5 раза, достигнув максимума к 1990 г., что связано теперь уже с безвозвратной эмиграцией этнических немцев на свою историческую родину.

Третья диаграмма: евреи Саратовской области, традиционно занятые в высокотехнологичных отраслях, науке, медицине и образовании, после распада СССР пополнили третью волну эмиграции, сократили свою численность в области в 4 раза, выехав теперь в основном в Европу, США и Канаду, а не на свою историческую родину. Характерно также появление в Саратовской области новых для неё этносов – курды увеличили численность в 40 раз, а дунгане – в 150. Эти группы поселяются обособленными группами в сельской местности, заняты в низкопроизводительном сельскохозяйственном производстве, фактически являющемся натуральным хозяйством, призванным обеспечить более-менее сносные условия жизни своих семей.

Потребность в этнической идентичности является базовой, определяющей в перечне самоопределений по социальному, классовому, профессиональному, половому, конфессиональному и другому рода признакам.

В области самыми многочисленными являются русские (85,6%), украинцы (3,8%), казахи (2,8%), татары (2,0%), мордва (0,9%), чувашаи (0,8%), белорусы (0,7%) и немцы (0,6%). *Наибольшей пестротой национального состава* отличаются города области. Но доля русских везде очень велика: от 96,3% (в Ртищеве) до 81,5% (Красный Кут). В Саратове самыми многочисленными после русских являются украинцы, татары, армяне, мордва, казахи, белорусы, чувашаи и азербайджанцы. В других городах украинцы – Энгельс, Балаково, Балашов, Калининск, Вольск, Маркс; казахи – Новоузенск, Энгельс; татары – Энгельс, Балаково, Пугачев, Ершов; мордва – Энгельс, Балаково, Петровск; чувашаи – Балаково; белорусы – Энгельс, Балаково. У наиболее многочисленных и давно проживающих в области народов сложилась своя география расселения.

Так, русских больше проживает в Правобережье, где их удельный вес составляет от 68,0% в Петровском районе до 95,7% в Романовском. В Левобережье их удельный вес ниже – от 45,3% в Александрово-Гайском районе до 79,3% в Краснопартизанском.

Наиболее велика численность украинцев в Самойловском, Калининском, Энгельском, Краснокутском, Федоровском и Ершовском районах. Украинцы – вторая национальность в Саратовской области, у которой уже проявилась тенденция стать третьей после казахов ввиду изменения динамики рождаемости последних. Казахи живут на юго-востоке Заволжья, в Александрово-Гайском районе их доля в населении составляет 46,6%, а русских только 45,3%. Значительно представительство казахов в Новоузенском, Дергачевском, Озинском, Питерском и Ровенском районах. Татарские, мордовские, чувашские села можно встретить по обеим сторонам Волги. Немцы проживают в Левобережье. Наибольшее их число в Марксовском, Энгельском и Ровенском районах.

За 2002–2005 годы в нашу область прибыло 40 тыс. беженцев и переселенцев, причем в городской местности – 28 тыс., в сельской – 12 тыс. В основном это русские (27 тыс. человек) – вынуж-



денные переселенцы из Азербайджана, Таджикистана, Узбекистана, Казахстана, Киргизии. Другими более значительными по численности национальностями, прибывающими к нам, являются армяне, грузины, азербайджанцы, немцы из различных стран СНГ. Вынужденные мигранты селятся во всех районах области, но больше их в таких районах Правобережья, как Балашовский, Вольский, Красноармейский, Калининский, в Левобережье – Балаковский, Энгельский, Марксовский, Пугачевский.

В то же время на фоне продолжающейся депопуляции происходит сокращение значения миграционных процессов в росте населения области. Так, регистрируемый миграционный прирост сократился более чем в 5 раз: с 9744 человек в 2000 г. до 1890 человек в 2001 г. С 1996 г. миграционный прирост перестал возмещать естественную убыль населения. В 1997 г. он компенсировал ее на 72%, а в 2002 г. лишь на 5%. Более того, в 2003 г. в области наблюдалась миграционная убыль населения. Поэтому в сложившейся ситуации основными миграционными «донорами» области выступают Казахстан, Средняя Азия и Кавказ. Так, в 2003 г. на территории Саратовской области были зарегистрированы более 38 тыс. иностранных граждан и лиц без гражданства, из них более 80% из стран СНГ. Подавляющее большинство мигрантов, зарегистрированных в Саратовской области как вынужденные переселенцы, – русские. Преобладание в общем потоке вынужденной миграции русских, которые имеют общую языковую, этническую и религиозную природу с местным населением, в определенной степени смягчает их взаимодействие, которое чаще всего строится по принципу «чужой – свой».

Таблица 2

Доля иностранных трудовых мигрантов в численности занятых в Саратовской области в 2003-2009 гг.<sup>1</sup>

Показатели	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Занятые, тыс. человек, в том числе:	1074	1095	1060,1	1107,6	1154	1207,7	1192
Женщины	493,5	513,9	506,1	532,2	545	573,7	589
Мужчины	580,5	581,2	554	575,4	609	634	603
Иностранные трудовые мигранты, тыс. человек, в том числе:	1213	1597	1426	1368	2001	2398	3368
Женщины	76	132	130	297	466	486	626
Мужчины	1137	1465	1269	1071	1535	1912	2746
Доля мигрантов в численности занятых в экономике, %	0,113	0,146	0,134	0,124	0,174	0,199	0,284

Таблица 3

Структура иностранных трудовых мигрантов в Саратовской области по отраслям экономики в 2009 г.<sup>2</sup>

Отрасли экономики	Из республик бывшего СССР		Страны дальнего зарубежья		Всего	
	чел.	%	чел.	%	чел.	%
Промышленность	222	1,6	40	0,2	262	1,8
Сельское хозяйство	850	6,3	254	1,8	1104	8,1
Транспорт	45	0,3	4	0,01	49	0,31
Связь	134	1	-	-	134	1
Строительство	1796	13,4	3956	29,7	5752	43,1
Торговля и общественное питание	19	0,1	69	0,5	88	0,6
Материально-техническое снабжение	4	0,01	-	-	4	0,01
Информационно-вычислительное обслуживание	7	0,03	5	0,01	12	0,04
Общая коммерческая деятельность по обеспечению рынка	2629	19,7	3085	23,1	5714	42,8
Геология и разведка недр	16	0,2	-	-	16	0,2
ЖКХ	8	0,03	-	-	8	0,03
Здравоохранение, физкультура и спорт, социальное обеспечение	46	0,7	12	0,06	58	0,76
Образование	8	0,03	4	0,01	12	0,04
Культура и искусство	24	0,1	-	-	24	0,1
Наука и научное обслуживание	7	0,03	-	-	7	0,03
Другие отрасли	98	0,7	55	0,4	153	1,1
Всего	5913	44,2	7484	55,8	13397	100

<sup>1</sup> Официальный сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Саратовской области. URL : <http://srtv.gks.ru/default.aspx>.

Численность иностранных трудовых мигрантов из стран СНГ и Балтии, привлеченных в Саратовскую область в 2003-2009 гг., человек

Страны	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Всего	%
Из стран бывшего СССР, в том числе:	170	643	793	418	828	1266	1943	6063	44
Азербайджан	14	22	22	16	189	428	750	1441	10,6
Армения	30	76	72	24	144	326	375	1047	7,7
Грузия	17	26	26	5	6	9	15	104	0,6
Казахстан	4	7	24	30	19	13	8	105	0,6
Кыргызстан	-	-	-	4	38	52	47	141	0,9
Молдова	15	213	313	18	24	23	18	624	4,5
Таджикистан	-	-	-	-	22	52	115	189	1,3
Узбекистан	20	50	55	29	70	136	386	746	5,4
Украина	56	241	276	285	308	219	225	1610	11,9
Литва	9	8	5	7	4	6	4	43	0,1

Исследования этнической структуры трудовых миграций показывает, что среди трудовых мигрантов наблюдается тенденция увеличения доли титульных народов государств исхода наряду с реальным преобладанием русских. Основными причинами, по которым жители соседних государств приезжают в Саратовскую область, являются экономические. Мигранты едут в Россию в поисках заработка, нередко готовы братья за любую работу, на которую не найти претендентов из числа местных жителей. Работники из ближнего зарубежья чаще всего предпочитают работать в сельском хозяйстве, торговле, общественном питании и строительстве.

В 2003 г. в промышленности было занято в полтора раза больше иностранных рабочих по сравнению с предыдущим годом, в сельском хозяйстве – на 31% меньше, а в сфере строительства на 62% меньше. В 2004 г. на работу предполагалось привлечь 775 иностранных граждан, но вследствие увеличения государственной пошлины за использование иностранных рабочих реально их оказалось меньше.

Внутриобластная миграция составляет в общем миграционной динамике 60,2%, но в то же время она на изменение численности населения области в целом не влияет, 34,3% в миграционном обороте приходится на перемещения внутри России, 5,1% – на перемещения в страны СНГ и обратно, 0,4% – на другие зарубежные страны.

Таблица 5

Общие итоги миграции населения по Саратовской области за 2011 г.

Показатели	Прибывшие	Выбывшие	Миграционный прирост
Миграция всего	57938	58831	-893
из нее:			
в пределах России,	52109	58163	-6054
в том числе:			
внутриобластная	35516	35516	-
межрегиональная	16593	22647	-6054
международная	5829	668	5161
в том числе:			
со странами СНГ	5382	464	4918
Азербайджан	593	13	580
Армения	794	12	782
Белоруссия	81	49	32
Казахстан	1079	272	807
Киргизия	779	33	746
Молдавия	177	3	174
Таджикистан	326	8	318
Туркмения	103	1	102
Узбекистан	1026	16	1010
Украина	424	57	367

с другими зарубежными странами	447	204	243
--------------------------------	-----	-----	-----

В январе-марте 2012 г. число прибывших мигрантов составило 14183 человека, в том числе зарегистрированы в новом месте жительства – 9138 человек, а по месту пребывания (на срок 9 месяцев и более) – 3480 человек (24,5%). Выбыло мигрантов из области 13485 человек, из них сняты с регистрационного учета 9294 человека, а покинули область на срок более 9 месяцев 3579 человек (26,5%).

Прибыли в область из других регионов России и зарубежных стран 5857 человек (41,3%), выбыли – 5159 человек (38,3%). За три месяца этого года в области сложился миграционный прирост населения, который составил 698 человек. Наиболее значительным он был из Казахстана (27,2%), Узбекистана (20,6%), Армении и Киргизии (по 14,2%), Азербайджана (10,2%), Украины (4,5%), Таджикистана (около 4%). Миграционные процессы и, так сказать, созревание гражданского общества в регионе отражаются на восприятии населением этнической картины социальной среды.

Таблица 6

С какими позициями в межнациональных отношениях Вы согласны (?):  
(Всего анкет 1244. Без ответа 7)

Варианты ответов	Саратов 2005	Саратов 2010	ИДК*
1. Война христианской и мусульманской цивилизации в XXI веке неизбежна	9.7	11	+1
2. Русские в России должны иметь больше прав, чем национальные меньшинства	23	21	-2
3. Представители всех национальностей в России должны обладать равными правами	56	61	+5
4. Нужно вести борьбу с засильем нерусских во власти, бизнесе и торговле	44	48	+4
5. Следует ужесточить наказания за проявления русского шовинизма и экстремизма	15	21	+6

Таблица 7

Как бы Вы отнеслись к тому, что в Вашем районе (городе) будут жить и работать (?)<sup>1</sup>

	2005	2010	ИДК*
1. Русские переселенцы из стран СНГ	54	68	+14
2. Украинцы	48	57	+9
3. Молдаване	26	32	+6
4. Казахи	22	29	+7
5. Корейцы	16	17	+1
6. Узбеки	11	10	-1
7. Таджики	13	17	+4
8. Турки	12	11	-1
9. Китайцы	11	10	+1
10. Кавказцы	9.7	11	+1.3

На чём же зиждется относительное благополучие региона и мирное сосуществование столь несхожих по культуре, бытовому укладу национальных сообществ?

Во-первых, уже в советские времена в Саратовской области сложились лояльные власти группы авторитетных в своих сообществах национальных лидеров, заинтересованных в стабильном и мирном сосуществовании всех народов, населяющих территорию региона (татарские, украинские, немецкие культурные, досуговые, фактически же самоуправленческие структуры). В постсоветский период стали возникать подобные центры национального самоуправления и среди новых поселенцев. Сейчас в области существует 6 национально-культурных автономий (татарская, казахская, курдская, армянская, азербайджанская, немецкая) и около 30 национально-культурных объединений.

Во-вторых, актив национальных организаций достаточно политизирован, что распространяется и на всех представителей диаспор. Таким образом, произошла и постоянно продолжается интенсивная политическая ассимиляция новых поселенцев при сохранении вполне приемлемой для них культурной самобытности.

В-третьих, установилась достаточно эффективная интеграция органов государственного регионального и муниципального управления с лидерами диаспор. Любые конфликтные ситуации между представителями различных этносов решаются при непосредственном участии авторитетных ли-

<sup>1</sup> Здесь приводятся только положительные оценочные позиции респондентов (в % от всех).

дерев национально-культурных объединений, начиная со стадии дознания или административного разбирательства и, если так сложатся обстоятельства, вплоть до судов различных инстанций.

Укрыться, отгородиться от миграционных процессов невозможно, так же как спрятаться от потоков нейтрино, пронизывающих Вселенную. Полная политическая и административная, управленческая ассимиляция мигрантов и забота о сохранении их национально-культурной самобытности представляются разумным третьим путём, не ведущим ни к насильственной ассимиляции, ни к государственно-политической деструкции, но имеющим целью социальное и духовное благополучие всех граждан многострадальной России.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Плохова Н.В. Ситуация на рынке труда в Саратовской области / Н.В. Плохова // Российское предпринимательство. 2011. № 10 Вып. 2 (194). С. 43-47.

**Русанов Виктор Алексеевич** –

кандидат философских наук, доцент кафедры «Гуманитарные науки» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Viktor A. Rusanov** –

Ph. D., Associate Professor of the Department Humanities of Engels Institute of Technology, Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Клинаев Юрий Васильевич** –

доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Техническая физика и информационные технологии» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета Гагарина Ю.А.

**Yuriy V. Klinayev** –

Dr. Sc., Professor of the Department Technical Physics and Information Technologies of Engels Institute of Technology, Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Замогильный Сергей Иванович** –

доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой «Гуманитарные науки» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergey I. Zamogilniy** –

Dr. Sc., Professor of the Department Human Sciences of Engels Institute of Technology, Part of Gagarin Saratov State Technical University

**Санатин Владимир Петрович** –

кандидат философских наук, директор Центра социальных исследований Фонда «РОСС-XXI ВЕК», г. Саратов

**Vladimir P. Sanatin** –

Ph. D., Director of the Centre for Social Research Foundation «ROSS-XXI CENTURY», Saratov

**Дикун Наталья Александровна** –

аспирант кафедры «Гуманитарные науки» Энгельского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Natalia A. Dikun** –

Postgraduate of the Department Humanities of Engels Institute of Technology, Part of Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 11.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

## ЭКОЛОГИЯ

УДК 004.65:574:627

**С.Э. Михалёв, С.В. Бобырев, Н.А. Угланов, Ю.А. Изюмов, Е.И. Тихомирова**

### **ГИДРОМЕТРИЧЕСКИЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС КАК ОСНОВА ПРОВЕРКИ АДЕКВАТНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МАЛЫХ РЕК**

*В данной работе представлено мобильное решение построения аппаратно-программного гидрометрического комплекса мониторинга малых рек в экологических исследованиях на основе микропроцессора, ноутбука и датчиков, обеспечивающего возможность получения и обработки большого количества экспериментальных данных, позволяющих определять с достаточной точностью константы, входящие в модельные уравнения гидрологических процессов.*

Малые реки, загрязнённость, гидрологический процесс, программно-аппаратный комплекс, мониторинг, микропроцессор, микроконтроллер, датчик, последовательный порт, экологические исследования

**S.E. Mikhalev, S.V. Bobyrev, N.A. Uglanov, Yu.A. Izyumov, E.I. Tikhomirova**

### **HYDROMETRIC HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX AS BASIS OF CHECK OF ADEQUACY OF HYDROLOGICAL MODELS OF THE SMALL RIVERS**

*This study presents a mobile solution, building hardware-software complex hydrometric monitoring small rivers in environmental studies on the basis of the microprocessor, laptop and sensors, providing the possibility of obtaining and processing of large amounts of experimental data, allowing to define with adequate accuracy the constants entering into the model equations of hydrological processes is provided.*

Small rivers, pollution, hydrological process, hardware-software complex, monitoring, microprocessor, microcontroller, sensor, serial port, ecological researches

Мелководные реки на равнинной местности составляют большинство в Заволжье, и именно они определяют хозяйственную деятельность населения, связанную с водопользованием.

В пределах Саратовской области протекают 358 рек длиной более 10 км, в том числе 55 рек длиной более 50 км каждая [1] (рис. 2).

Основной запас поверхностных водных ресурсов приходится на р. Волгу, протяжённость которой в границах области составляет 368 км.

Таким образом, оказывается, что около 300 рек имеют длину до 50 км. Именно они и определяют особенности во многом уникальных ландшафтов области, особенно Заволжья, способствуют сохранению эндемиков и определяют особенности хозяйственной деятельности населения [1].

Основной проблемой малых рек и небольших водохранилищ является их высокая загрязнённость. В период половодья происходит интенсивное разрушение почвенного слоя и захват его потоком воды. Переносимая почва оседает в мелких местах, образуя толстые слои ила. В период обмеления происходит гибель водной растительности, которая, в свою очередь, образует на дне слой, насыщенный веществами, впитанными растениями [4].

Часть воды просачивается в почву, при этом переносимые водой частицы частично задерживаются поверхностным слоем дна (рис. 1).



Рис. 1. Формирование движения загрязнений

Вода, проникшая в почву, накапливается в водоносных слоях, и некоторое время служит основным питанием растений на территории. Кроме того, уровень и течение воды в малых реках зависят от регулируемого уровня р. Волги даже на весьма больших расстояниях от неё. В условиях ограниченного стока и мелководья даже относительно большие реки оказываются весьма загрязнёнными (табл. 1) [1].

Для ведения хозяйственной деятельности, соблюдая условия рационального природопользования, необходимо уметь предсказывать движение загрязнений в зоне рек и водохранилищ во всех стадиях гидрологических процессов. Для этого надо научиться моделировать такие процессы, как вычисление векторных полей скоростей водного потока, захват донных отложений водным потоком, перенос их на некоторое расстояние, выпадение переносимых потоком частиц на дно, просачивание воды в почву, фильтрация примесей (рис. 1) и т.д. [3].

Проведение такого рода расчётов очень важно для небольших хозяйств и предприятий, осуществляющих водопользование во время своей деятельности. Но именно эти хозяйства, как правило, не имеют ни средств, ни специалистов для проведения этих, зачастую весьма сложных и изощрённых расчётов. В этих условиях водопользование зачастую приобретает формы, весьма мало связанные с понятием «экология». Такие же сложности испытывают общественные организации, которые пытаются контролировать состояние окружающей среды и деятельность компаний. Использование полных и подробных имитационных моделей малой реки (рис. 3), адекватных с физической точки зрения, включающих в себя большинство процессов, протекающих в реке, наталкивается на проблему невозможности определения с достаточной степенью точности констант, входящих в модельные уравнения [5].



Рис. 2. Распределение территории Саратовской области по бассейнам основных рек

Уровень загрязненности поверхностных вод рек Саратовской области в 2009-2011 годах

Наименование реки, месторасположение пункта наблюдения	Индекс загрязненности воды (УКИЗВ)			Класс качества воды		
	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.
р. Карай, с. Подгорное	3,31	3,97	4,20	3б класс «очень загрязненная»	3б класс «очень загрязненная»	4а класс «грязная»
р. Хопер, г. Балашов	3,98	4,28	3,67	3б класс «очень загрязненная»	4а класс «грязная»	3б класс «очень загрязненная»
р. Медведица, р.п. Лысье Горы	3,63	3,97	4,32	3б класс «очень загрязненная»	3б класс «очень загрязненная»	4а класс «грязная»
р. Аткара, г. Аткарск	3,31	4,04	4,77	3б класс «очень загрязненная»	3б класс «очень загрязненная»	4а класс «грязная»
р. Большой Иргиз, г. Пугачев	3,93	4,21	4,00	3б класс «очень загрязненная»	4а класс «грязная»	4а класс «грязная»
р. Малый Узень, с. Малый Узень	2,49	2,49	3,86	3а класс «загрязненная»	3а класс «загрязненная»	3б класс «очень загрязненная»
р. Большой Узень, г. Новоузенск	3,83	3,66	4,36	3б класс «очень загрязненная»	3б класс «очень загрязненная»	4а класс «грязная»



Рис. 3. Пример малой реки – участок реки Курдюм  
(а – космический снимок, б – зона моделирования, в – отложения ила на пляже)

Одним из способов повышения точности эмпирического определения констант является увеличение количества измерений с последующей их статистической обработкой. Большинство измерений, таких как скорость течения, глубина, температура и т.п., требуют, с одной стороны, значительного времени, что препятствует получению большого количества измерений, с другой – точного позиционирования на местности, соответственно сложности привязки измерений в конкретной точке к исследуемой местности [4].

Для снижения трудоёмкости и повышения надёжности процесса измерения и точности получаемых данных необходимо автоматизировать измерения и их первичную обработку. Поскольку характер измерений может быть самый различный, измерительная аппаратура (рис. 4, 5) и поддерживающее её программное обеспечение должно быть легко адаптируемым, для чего должно быть построено по модульному принципу (рис. 6) с единым аппаратным и программным интерфейсом.



Рис. 4. Примеры навигационных устройств



а – микропроцессорный иономер      б – портативный мутномер      в – гидрометрическая вертушка

Рис. 5. Примеры измерительных устройств

Модульная архитектура (см. рис. 6) платформы обеспечивает подключение программных компонентов интеграции с системами различного функционала и назначения – это позволяет создавать решения любой функциональности. Программное обеспечение представляет собой объединённые единым интерфейсом программные модули, отвечающие за управление конкретным оборудованием и реализацию функций обработки информации.

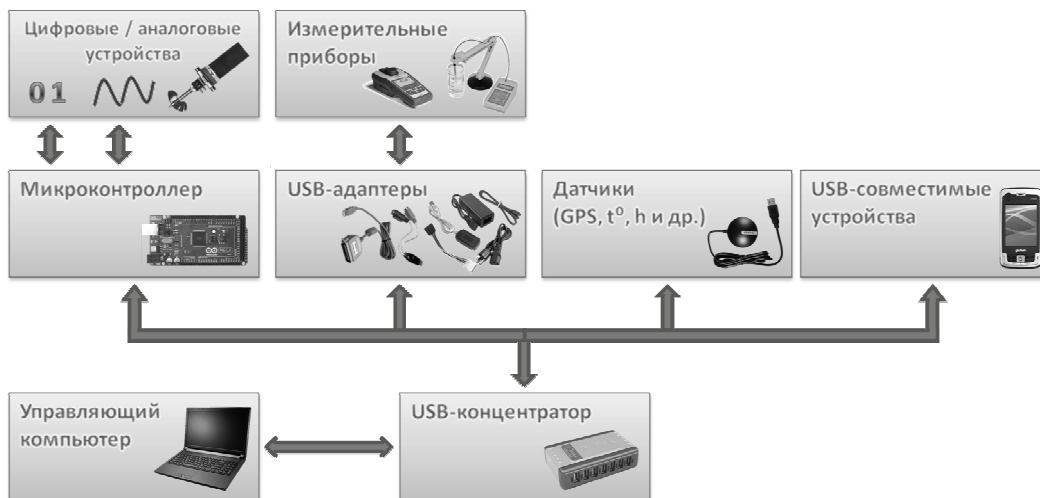


Рис. 6. Модульная архитектура

Набор модулей определяется в соответствии с поставленными задачами, что позволяет выбрать именно такую конфигурацию комплексной системы, которая наиболее полно соответствует требованиям в определенный момент. Можно легко подключить новые приборы и датчики, дополнить программную часть системы соответствующими подпрограммами, тем самым расширив измерительные возможности аппаратно-программного комплекса (рис. 7-8).



Рис. 7. USB-концентраторы, RS232-USB-преобразователь



Рис. 8. USB-адаптеры



Таким образом, программно-аппаратный комплекс предоставляет максимальную свободу и гибкость в выборе технического оборудования и программных средств, оптимально подходящих для каждого объекта.

Данный гидрометрический комплекс разработан для использования его в проекте по обследованию гидрологии малых рек региона для получения исходных данных и проверки адекватности моделей экосистем малых рек. В данной работе представлено мобильное решение построения аппаратно-программного комплекса мониторинга на основе микропроцессора, ноутбука и датчиков. Датчики могут подключаться к компьютеру или непосредственно через шину USB или через микроконтроллер типа MEGA-2560 (рис. 9), который осуществляет мультиплексирование сигналов с датчиков, предварительную обработку результатов измерения и передачу их в компьютер через шину USB (см. рис. 6).

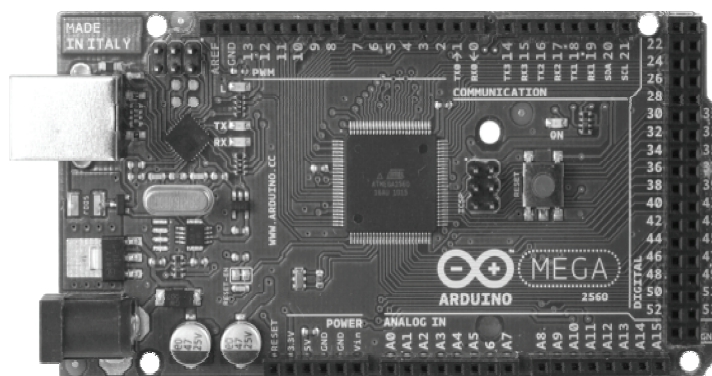


Рис. 9. Микроконтроллер Arduino MEGA 2560

Программирование микроконтроллера MEGA-2560 осуществляется на внутреннем Си-подобном языке, который позволяет программировать обработку получаемых данных с аналоговых и цифровых приборов, а также генерировать управляющие сообщения для подключенных устройств (рис. 10).

Средством разработки процедур обмена данными микроконтроллера с компьютером выбран объектно-ориентированный язык C#. Он позволяет программировать операции ввода/вывода в последовательный порт и рассматривать любое устройство, как объект с набором характеристик и возможных операций.

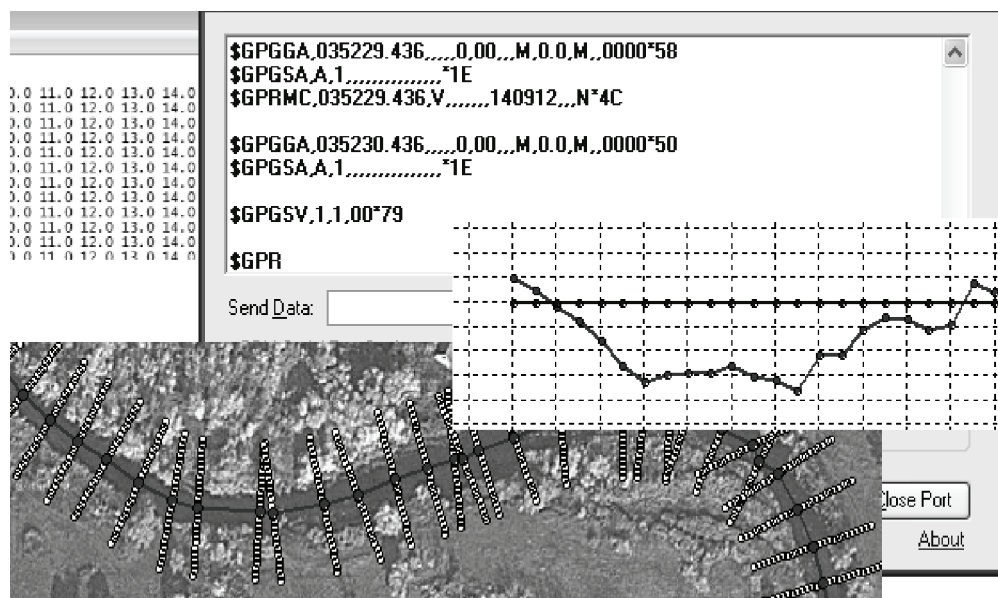


Рис. 10. Интерактивные окна модулей программы обработки полученных данных

Алгоритм управления программно-аппаратным комплексом мониторинга обеспечивает считывание информации с датчиков, передачу информации в режиме мультиплексирования в компьютер, где значения присваиваются переменным языка C#. Это позволяет в дальнейшем разрабатывать широкий спектр программ, таких как:

- моделирование исследуемых объектов,
- визуализация исходных данных и результатов моделирования
- фильтрация данных в соответствии конкретной задачей моделирования
- управление базами данных,
- сравнение с архивными данными,
- статистическая обработка,
- исследование динамики показателей в реальном времени и т.д.

В настоящее время данный комплекс проходит испытания при проведении экологического мониторинга на малых реках Саратовской области: Курдюм, Большой и Малый Караман (рис. 11).



Рис. 11. Испытания гидрометрического комплекса в полевых условиях

Разработанный аппаратно-программный гидрометрический комплекс является мощной и легко адаптируемой основой для построения систем мониторинга малых рек в экологических исследованиях. Он обеспечивает возможность получения и обработки большого количества экспериментальных данных, что позволяет определять с достаточной точностью константы, входящие в модельные уравнения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2011 году / Правительство Саратовской области. Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратовской области. Саратов, 2012. 245 с.
2. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества вод / А.М. Никаноров. СПб.: Гидрометеиздат, 2005.
3. Оценка и регулирование качества окружающей природной среды: учеб. пособие для инженера-эколога / под ред. А.Ф. Порядина и А.Д. Хованского. М.: НУМЦ Минприроды России, Издательский дом «Прибой», 1996. 350 с.
4. Экологические проблемы Среднего и Нижнего Поволжья на рубеже тысячелетий / Г.С. Розенберг, В.Б. Голуб, И.А. Евланов и др. // Стратегия контроля и управления (Аналитический доклад для Ассоциации «Большая Волга»). Тольятти: ИЭВБ РАН, 2000. 48 с.
5. Введение в экологическое моделирование / А.А. Цхай, М. Пулян и др. Барнаул: Азбука, 2001. 315 с.

**Михалёв Сергей Эдуардович** – аспирант кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergey E. Mikhalev** – Postgraduate of the Department Ecology of the Department Ecology Gagarin Saratov State Technical University

**Бобырев Сергей Владимирович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Sergey V. Bobyrev** – Dr. Sc., Professor of the Department Ecology Gagarin Saratov State Technical University

**Угланов Никита Александрович** – ассистент кафедры «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Nikita A. Uglanov** – Postgraduate of the Department Ecology Gagarin Saratov State Technical University

**Изыумов Юрий Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция, водообеспечение и прикладная гидрогазодинамика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Yury A. Izyumov** – Ph. D., Associate Professor of the Department Heat and gas supply, ventilation, water supply and applied fluid dynamics Gagarin Saratov State Technical University

**Тихомирова Елена Ивановна** – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экология» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Elena I. Tikhomirova** – Ph. D., Professor Head of the Department Ecology Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 629.1.033.3

**В.В. Чернышев**

### **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ШАГАЮЩЕГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ГРУНТАХ С НИЗКОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ\***

*Рассмотрены вопросы, связанные с экологичностью и энергоэффективностью шагающего способа передвижения в орошаемом земледелии. Приведены рекомендации по выбору основных параметров шагающих движителей циклового типа, предназначенных для работы на слабых и переувлажненных грунтах. Полученные результаты предполагается использовать при внедрении новых почвосберегающих технологий в орошаемом земледелии.*

Почвосберегающие технологии, шагающий движитель, динамическое моделирование, взаимодействие с грунтом, энергоэффективность

**V.V. Chernyshev**

### **ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS AND ENERGY EFFICIENCY OF THE WALKING PROPULSOR ON SOILS WITH LOW BEARING CAPACITY**

*The article considers the problems associated with environmental friendliness and energy efficiency of walking machines in irrigated agriculture. Recommendations for choosing the main parameters of cyclic walking propulsion type designed to work in the wetland soils are presented. The obtained results will be used for introducing new soil conservation technologies in irrigated agriculture.*

Soil conservation technology, walking propulsor, dynamic simulation, interaction with the soil, energy efficiency

Одной из наиболее острых проблем земледелия России продолжает оставаться деградация почвенного покрова. По данным Российской академии сельскохозяйственных наук, из общей площади пашни 119,1 млн. га водной эрозии подвержено 35 млн. га, ветровой эрозии – 10 млн. га, эрозионно-опасных – 50 млн. га. Одной из причин процессов эрозии и уплотнения почвы, приводящей к ее деградации, является широкое использование в сельском хозяйстве колесных и гусеничных машин. Традиционные движители на грунтах с низкой несущей способностью зачастую не обладают достаточной проходимостью, оставляют глубокую колею и разрушают экологически ранимый почвенный покров.

В условиях переувлажненного грунта указанные недостатки проявляются в наибольшей степени. Так, например, в поливном земледелии при движении колесных дождевальных машин образуется широкая колея глубиной порядка 0,5 м. Такая колея уменьшает коэффициент полезного использования земли и приводит к бесполезным потерям воды, которая либо скапливается в колее, либо уходит с поля, разрушая и смывая плодородный слой почвы. С точки зрения энергозатрат колесный движитель также не является ресурсосберегающим. При поливе колеса дождевальной машины не могут выбраться из колеи, заполненной водой и грязью, и движение происходит в наиболее тяжелых с точки зрения энергозатрат условиях.

Аналогичные проблемы имеют место и при освоении районов Крайнего Севера (в условиях арктической зоны, тундры и лесотундры).

При внедрении новых почвосберегающих технологий в лесном и сельском хозяйстве представляется привлекательным применение шагающего движителя вместо колесного и гусеничного. При шагающем способе передвижения имеет место качественный рост грунтовой и профильной проходимости, а наносимый почвенному покрову вред благодаря дискретному и близкому к статическому взаимодействию стопы с грунтом сводится к минимуму.

В работе на базе анализа результатов динамического моделирования и обобщения опыта разработки и испытаний дождевальных машин с шагающими опорами в условиях реальной эксплуатации, а также полевых испытаний шагающих роботов «Восьминог» и «Ортоног» [1-5], формулируются рекомендации по выбору параметров шагающих движителей, предназначенных для работы на слабых и переувлажненных грунтах.

В опытных образцах шагающих опор дождевальной машины и в роботе «Восьминог» использовались движители на базе 4-звенных цикловых механизмов шагания (рис. 1), предложенных Н.В. Умновым (ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН). На рис. 1 точки на траектории расположены через  $\frac{1}{24}$  периода цикла, точки с заливкой соответствуют опорной фазе.

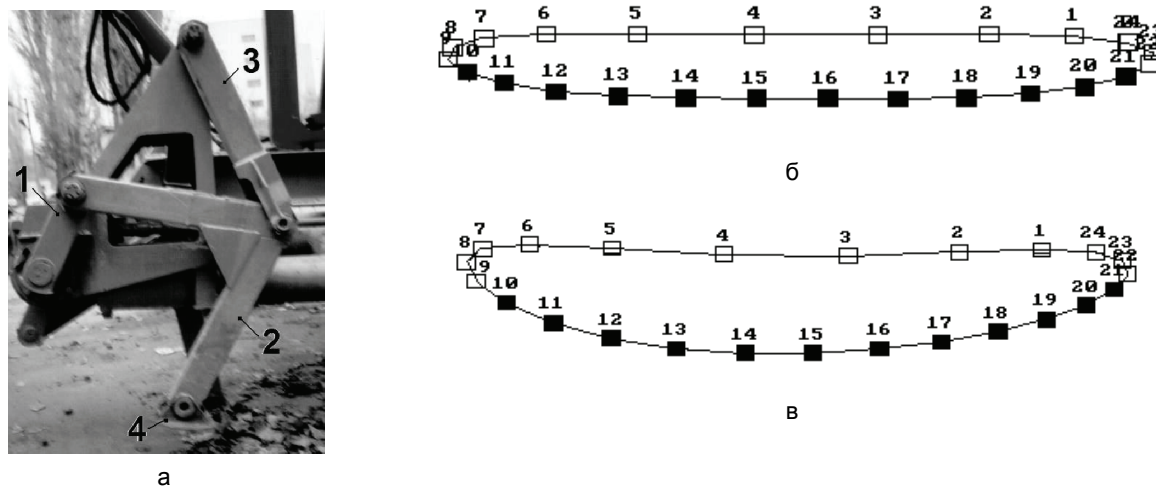


Рис. 1. Цикловой механизм шагания (а) и траектория его опорной точки (б – базовая, в – скорректированная): 1 – ведущий кривошип; 2 – Г-образное опорное звено; 3 – коромысло; 4 – стопа

В роботе «Ортоног» использовались шагающие движители ортогонального типа.

Для взаимодействия с грунтом механизмы шагания снабжались стопами, которые шарнирно присоединялись к опорному звену. Уменьшить повреждения экологически ранимого почвенного покрова можно либо за счет уменьшения зоны уплотнения почвы, снижая габариты стопы, либо путем уменьшения давления на грунт.

Первоначально использовались стопы «hoof-foot» с малой опорной поверхностью. При этом наблюдалось падение тягово-сцепных свойств движителя в момент смены стоп. Замеченная позиционная зависимость тягово-сцепных свойств обусловлена, во-первых, деформацией опорной поверхности, соразмерной с высотой шага в фазе переноса, а во-вторых, различием при смене стоп горизонтальных составляющих относительных скоростей их опорных точек [6]. Поскольку обе стопы при

смене стоп находятся на деформируемом грунте, то как минимум одна из них будет иметь скорость, отличную от нуля по отношению к грунту. В результате под ней будет иметь место локальное разрушение (срыв) грунта с потерей его несущих свойств. В ортогональных движителях робота «Ортоног» указанный эффект проявляется в меньшей степени, однако значительная деформация грунта при малой опорной поверхности стоп усложняет согласованное управление движителями машины. По этой причине в дальнейшем в шагающих движителях применялись лыжеобразные стопы. За счет большой опорной поверхности лыжеобразных стоп обеспечивалось снижение давления на грунт до 0,02-0,04 МПа. Стопы были выполнены в виде полых, снабженных ребрами жесткости, трапециевидных коробов. Высокая прочность и жесткость стоп допускает при эксплуатации машины, например при преодолении рвов или уступов, опору только на две крайние точки стопы. После испытаний толщина стоп была специально увеличена до 0,15 м. Это снижает вероятность «самозакапывания» стопы грунтом, оседающим со стенок колеи. Грунтозацепы на лыжах не предусматривались из экологических соображений, так как при движении они разрушают экологически ранимый верхний слой почвы.

Для уменьшения заминаемости растений и повышения грунтовой проходимости давление на грунт целесообразно снизить. С другой стороны, для уменьшения зоны уплотнения почвы желательно снизить габариты стопы. Проведенные полевые испытания показали, что для обеспечения достаточной грунтовой проходимости значения давления на грунт, рекомендованные для гусеничных и колесных машин повышенной проходимости (0,015-0,02 МПа), могут быть для шагающих машин увеличены до 0,04 МПа. Это объясняется статическим взаимодействием стопы с грунтом в опорной фазе. При таком давлении на грунт глубина следовой дорожки составляла всего 5-20% от глубины колеи колесных движителей, причем на следовой дорожке продолжала расти поливаемая культура. В опытных образцах шагающих опор длина шага была меньше длины лыжи, поэтому следовая дорожка получилась сплошной (рис. 2). Это способствует ирригационной эрозии. При разработке шагающих опор габариты ног выбирались из условия возможности их работы в дождевальном машине «Кубань» совместно с серийными колесными тележками. Из-за этого длина шага получилась небольшой (около 0,8 м). Габариты машины позволяют увеличить длину шага в 2-3 раза путем пропорционального увеличения длин звеньев механизмов шагания. В этом случае следовая дорожка будет дискретной. Также для исключения сплошной колеи можно расположить лыжеобразные стопы под углом к курсовому направлению «елочкой» [7], что приведет к улучшению тягово-сцепных свойств движителя.



Рис. 2. Шагающая опора дождевальной машины

При анализе энергозатрат при шагающем способе передвижения потери мощности на преодоление грунтового сопротивления оценивались как

$$W_f = k_f v_x G, \quad (1)$$

где  $v_x$  – курсовая скорость;  $k_f$  – коэффициент сопротивления движению;  $G$  – вес машины.

Для шагающего движителя ориентировочные значения  $k_f$  в условиях отсутствия экспериментальных данных определялись аналитически по формуле  $k_f = A_f / GS$ , где  $A_f$  – работа, затрачиваемая на прессование грунта за цикл;  $S$  – перемещение машины за цикл. В нашем случае прессование грунта за цикл (2 шага) происходит дважды, поэтому  $A_f = 2Gh$ , где  $h$  – глубина следовой дорожки.

Проведенный анализ показал, что в условиях переувлажненного грунта переход от колесного движителя к шагающему обеспечивает снижение  $W_f$  в 2-3 раза.

У шагающих машин, кроме указанных затрат мощности, имеются дополнительные энергопотери. При ходьбе имеет место неравномерность курсового движения и колебания корпуса при каж-

дом шаге. Это требует дополнительных энергозатрат, которые включают мощность на преодоление сил тяжести машины при ее вертикальных колебаниях

$$W_0^G = Gv_z, \tag{2}$$

мощность на преодоление цикловых сил инерции корпуса

$$W_0^\Phi = \Phi_{0x} v_x + \Phi_{0z} v_z, \tag{3}$$

и мощность на преодоление сил инерции в движителе, которые складываются из затрат на преодоление сил инерции в звеньях механизмов шагания

$$W_{leg}^\Phi = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^2 (\Phi_{ijkx} \dot{x}_{Cijk} + \Phi_{ijkz} \dot{z}_{Cijk} + M_{ijy}^\Phi \omega_{ijy}), \tag{4}$$

где  $v_z$  – вертикальная скорость машины;  $\Phi_{0x} = -m_0 a_x$ ,  $\Phi_{0z} = -m_0 a_z$  – курсовая и вертикальная составляющие главного вектора сил инерции корпуса;  $a_x$ ,  $a_z$  – его курсовое и вертикальное ускорение;  $m_0$  – масса корпуса;  $\Phi_{ijkx}$ ,  $\Phi_{ijkz}$  – курсовые и вертикальные силы инерции  $i$ -го звена  $j$ -го механизма шагания  $k$ -го борта;  $\dot{x}_{Cijk}$ ,  $\dot{z}_{Cijk}$  – курсовая и вертикальная скорости центра масс звеньев;  $M_{ijy}^\Phi$  и  $\omega_{ijy}$  – момент сил инерции звена и его угловая скорость.

При определении мощностей (2)-(4) был проведен кинематический анализ шагающей опоры. При определении скоростей и ускорений точек механизмов шагания они рассматривались как плоские многосвязные механизмы. При составлении дифференциальных уравнений движения звеньев их угловые скорости выражались через скорости точек, на которые накладываются внешние связи. Выражения для скоростей узловых точек получались последовательным, от звена к звену, рассмотрением движений твердых тел. Для задания движения шагающей опоры к уравнениям движения добавлялись формулы для проекций относительных скоростей опорных точек, а также формулы для относительных координат опорных точек, необходимых для определения момента смены стоп.

Расчеты показали, что при невысоких скоростях движения основной объем дополнительных энергозатрат  $W_{дон}$  связан с мощностью, идущей на преодоление сил тяжести шагающей машины. Структура затрат мощности за цикл (2 шага) для 2,5 тонной шагающей опоры при скорости 1 км/ч представлена на рис. 3. На рисунке по оси абсцисс расположены порядковые номера точек относительной траектории (рис. 1 б) опорной точки механизма шагания.

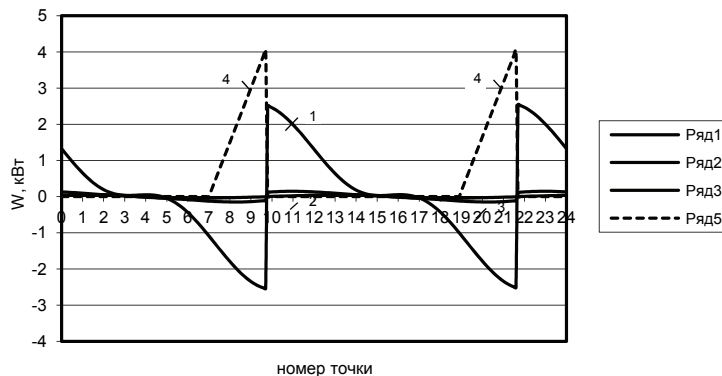


Рис. 3. Структура затрат мощности за цикл движения шагающей опоры при скорости 1 км/ч:

$$W_0^G \text{ (кривая 1); } W_0^\Phi \text{ (кривая 2); } W_{leg}^\Phi \text{ (кривая 3); } W_f \text{ (кривая 4)}$$

В шагающих машинах в отличие от колесных энергозатраты на прессование грунта имеют место лишь часть цикла – в момент смены стоп. Характер изменения  $W_f$  для шагающей опоры при  $h = 0,05$  м представлен на рис. 3 кривой 4. При такой глубине следовой дорожки смена стоп будет происходить на участках 7-10 и 19-22 траектории рис. 1б, где мощность  $W_f$  будет расти по мере увеличения реакции грунта под стопой входящей в опорную фазу от нуля до максимального значения. При смене стоп мощности  $W_f$  и  $W_0^G$  имеют разный знак и мощность на преодоление грунтового сопротивления на 65% обеспечивается за счет рекуперации энергии, затраченной на подъем корпуса. В результате дополнительные потери  $W_{дон}$  мало влияют на среднее значение мощности, расходуемой на движение за цикл, и шагающий движитель по энергоэффективности превосходит колесный в 1,5-2,5 раза. Поскольку  $W_f$  и  $W_0^G$  пропорциональны курсовой скорости, такая же ситуация будет иметь место во всем диапазоне невысоких скоростей. Мощность на преодоление цикловых сил инерции корпуса и в движителе при скоростях 1-2 км/ч незначительна, однако уже при скорости порядка 4-5 км/ч мощности  $W_0^\Phi$  и

$W_{leg}^{\Phi}$ , пропорциональные кубу курсовой скорости, становятся наиболее существенными в структуре энергозатрат на передвижение, и шагающий движитель начинает уступать по энергозатратам колесному.

При увеличении длины шага, которое предполагается осуществить для обеспечения дискретности следовой дорожки, среднее значение мощности, расходуемой на движение, уменьшится за счет уменьшения количества деформаций грунта на единицу пути. С практической точки зрения важно не только среднее значение требуемой на движение мощности, определяющее энергозатраты, но и ее максимальное значение, определяющее мощность электропривода. В разработанной шагающей опоре максимальное значение потребной мощности совпадает с максимумом  $W_0^G$  и составляет 2,5 кВт, что в 1,5 раза выше, чем при колесном движителе. При увеличении длины шага, например, в 2 раза за счет пропорционального увеличения длин звеньев механизма шагания соотношение высоты шага и глубины следовой дорожки изменяется, и смена стоп будет происходить на участках 7-10 и 19-22 траектории рис. 1 б, а на участках 9-10 и 21-22. Поскольку площадь треугольника под кривой 4, рис. 3, характеризующая работу на прессование грунта за половину цикла, не изменяется, а основание треугольника уменьшилось в 3 раза, то будет иметь место такой же рост пика кривой 4. В результате максимальное значение потребной мощности будет совпадать с максимумом  $W_f$  и составит около 9 кВт, что почти в 5 раз выше, чем при колесном движителе. Указанный недостаток можно устранить путем коррекции траектории опорной точки механизма шагания, направленной на увеличение участка смены стоп и, соответственно, основания треугольника, характеризующего работу на прессование грунта. Требуемую коррекцию траектории можно осуществить, например, за счет смещения точки подвеса коромысла механизма шагания (рис. 1 в). В итоге максимальное значение требуемой на движение мощности, определяющее мощность электропривода, уменьшится до уровня мощности, требуемой на движение при колесном движителе.

Таким образом, проведенный анализ показал, что при движении с невысокими скоростями в условиях слабого или переувлажненного грунта шагающий движитель циклового типа может при соответствующем выборе его основных параметров существенно превосходить колесный движитель по экологичности и энергоэффективности. Поэтому шагающие машины с простыми и надежными цикловыми движителями могут быть востребованы при внедрении новых почвосберегающих и ресурсосберегающих технологий в лесном и сельском хозяйстве, в частности в орошаемом земледелии, уже в настоящее время.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Опыт разработки и испытаний шагающих опор дождевальная машины / Е.С. Брискин, В.В. Чернышев, В.В. Жога, А.В. Малолетов // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 9. С. 27-31.
2. Чернышев В.В. Исследование взаимодействия шагающего движителя с экологически ранимым почвенным покровом / В.В. Чернышев, Е.С. Брискин // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № 1. С. 34-38.
3. Брискин Е.С. Экспериментальные исследования динамики многоопорной шагающей машины с движителями лямбдаобразного вида / Е.С. Брискин, В.В. Чернышев // Известия вузов. Машиностроение. 1999. № 4. С. 32-37.
4. Чернышов В.В. Полевые исследования шагающих машин / В.В. Чернышев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2004. № 4. С. 20-22.
5. Шурыгин В.А. Моделирование движения шагающей машины с ортогонально-поворотными движителями / В.А. Шурыгин, В.А. Серов, Н.Г. Шаронов // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. Т. 9. № 11. С. 41-44.
6. Брискин Е.С. О позиционной зависимости тягово-сцепных свойств шагающих машин с цикловыми движителями / Е.С. Брискин, В.В. Чернышев, Н.Е. Фролова // Тракторы и сельхозмашины. 2009, № 6. С. 21-25.
7. Пат. 2156711 РФ, МПК 7 В 62 D 57/032 Шагающая опора для транспортных средств повышенной проходимости / Д.Е. Охоцимский, Е.С. Брискин, В.В. Чернышев, С.В. Шерстобитов. 2000.

**Чернышев Вадим Викторович** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Теоретическая механика» Волгоградского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Vadim V. Chernyshev** – Dr. Sc., Professor  
Department of Theoretical Mechanics  
Gagarin Volgograd State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.10.12, принята к опубликованию 06.11.12

## ЭКОНОМИКА

УДК 331.215.1

**В.Н. Белкин, Н.А. Белкина, О.А. Антонова**

### **ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОЦЕНКИ КОЛЛЕКТИВНОГО И ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТРУДА**

*Рассматриваются теоретические и практические проблемы оценки труда на уровне всей организации, структурных подразделений и работников. Альтернативным вариантом тарифно-окладной системы оплаты труда работников предлагается рыночная система оценки и оплаты труда «РОСТ».*

Оценка труда, критерий оценки труда

**V.N.Belkin, N.A. Belkina, O.A. Antonova**

### **THEORY AND PRACTICE OF COLLECTIVE AND INDIVIDUAL LABOUR EVALUATION**

*Theoretical and practical problems of labor assessment on the level of the whole organization, structural divisions and employees are considered. As an alternative for the tariff scale system, it is offered to introduce the ROST market assessment and compensation systems.*

Work assessment, criterion of an assessment of labor

Проблема оценки труда имеет фундаментальное значение для экономической теории и практики. Ее пытались решить ученые и практики всего мира на протяжении столетий, однако многие задачи до сих пор не решены [1]. В центре внимания отечественной и зарубежной экономики труда находится оценка индивидуального труда. Достаточно полно научились оценивать труд рабочих-сдельщиков – по продукту труда (количеству и качеству изделий). Что же касается труда рабочих-повременщиков, руководителей, специалистов и служащих, то здесь успехи невелики, а нерешенных задач множество.

#### **Критерий оценки труда**

Труд повременщиков и окладников измеряется на практике рабочим временем. Однако разные работники приносят в единицу времени весьма различающийся полезный эффект, так как неодинаковы количество и качество их труда. Но уловить эти различия весьма сложно, поэтому при оплате их труда господствует уравниловка, что понижает мотивацию труда работников.

В современных условиях даже в производственных коллективах (заводах, фабриках, шахтах, стройках и т.д.) доля рабочих-сдельщиков невелика (обычно 25-30%). В связи с этим труд двух третей работников производственных организаций, а в непромышленной сфере – всех работников не оценивается, и зарплата распределяется в основном уравнилительно.

Провозглашенный социалистический принцип распределения – по количеству и качеству труда – для большинства работающего населения СССР так и остался декларацией. Этот принцип на практике был истолкован таким образом, что зарплату стали назначать в зависимости не от трудового вклада работника, результата его труда, а от его образования, уровня квалификации, должности, условий труда, народнохозяйственного значения отрасли и географического района труда. В этом перечне показателей полезный эффект труда затерялся.

Еще до начала труда работнику назначают основную зарплату, полагая, что чем выше квалификация и образование, тем больший трудовой вклад он внесет. Однако на практике далеко не всегда это происходит. Во-первых, потому, что неизвестно, как будет работник относиться к труду, захочет ли он полностью использовать свой трудовой потенциал. А во-вторых, потому, что труд и его продукт зависят не только от работника, но и от условий, в которые его ставит организация. В последние годы в России миллионы высококвалифицированных рабочих и руководителей резко понизили производительность труда, порой месяцами находятся в вынужденных отпусках и т.д.



Так что прямой и жесткой связи между уровнем развития работников и эффективностью производства товаров и услуг может и не быть. В связи с этим обстоятельством назначенные априори тарифные ставки и оклады зачастую не подтверждаются продуктом труда.

Весьма важно определиться теоретически, является критерием оценки труда работника. Для этой роли не подходят, как мы уже показали, уровень квалификации, образования, стаж работы и т.д. Организация вовсе не обязана оплачивать деловые качества работника. Она нанимает его исключительно для того полезного эффекта, который он может принести. Поэтому и оценивать его нужно по величине этого полезного эффекта. Иначе говоря, критерием оценки труда может быть только полезный эффект труда и ничего более. Причем неважно, в чем выражается полезный эффект – в виде некоторого количества деталей, изделий или услуг управленческой деятельности, услуг производственного и непроизводственного характера.

Трудовой кодекс РФ рекомендует оценивать труд по усилиям, затратам рабочего времени, квалификации, количеству и качеству труда и т.п. Все это находится на стороне работника. Это характеризует его трудовой потенциал, и он требует за него соответствующую оплату, а оплата – это и есть денежная оценка. Работник рассуждает так: я работаю от «звонка до звонка», никаких замечаний не имею, квалификация у меня высокая – плати как положено, т.е. хорошо плати.

Работодатель рассуждает иначе: я тебя нанял для того, чтобы ты выполнял свои трудовые обязанности, причем напряженно, инициативно и т.д. Ты должен окупить мои расходы на твою зарплату и принести организации еще прибыль. То есть работодатель оценивает труд с точки зрения достижения целей организации. А цель организации – не количество и качество труда, а количество и качество продукта труда. Поэтому и оценка труда должна исходить из целей хозяйственной деятельности. В условиях рынка критерием оценки труда является масса выручки, а вознаграждение за труд – часть этой выручки в виде фонда заработной платы.

До тех пор, пока труд не завершен, пока не получен результат труда, ничего определенного о труде сказать нельзя, невозможно его оценить. Как невозможно измерять вес весом, длину длинной, так нельзя оценивать труд трудом [2]. Оплачиваться должен лишь оцененный труд – и не по его количеству и качеству, а по продукту, полезному эффекту труда, т.е. по тому, во что реально вылились количество и качество труда. Это положение подтверждает современная российская экономика. Рынок оценивает не труд, а его продукт. Рынку все равно, какая квалификация и какое образование у работников организации, уровень организации труда и работы с персоналом, интенсивность и производительность труда и т.д.

Итак, в условиях рынка критерием оценки труда коллективов организаций является масса выручки от продажи товаров и услуг. Иначе говоря, критерий – не количество и качество труда коллектива, а количество и качество реализованных продуктов его труда. Это весьма важное обстоятельство. Из него следует, что критерием оценки труда работника внутри организации должен быть продукт труда в виде товара или услуг, трудовой вклад работника в общий конечный результат труда.

Какие функции на самом деле выполняет тарифно-окладная система (ТОС), можно показать на примере 18-разрядной тарифной системы, широко распространившейся в последние годы не только в бюджетных, но и в коммерческих организациях.

Главная функция – это распределение работ в организации по уровню сложности, ответственности и т.п. Всю совокупность работ распределяют по иерархической лестнице по 18 «полкам». Осуществляется дифференциация работ с помощью тарифных коэффициентов, возрастающих от 1 до 18-го разряда. При этом в той или иной конкретной организации иногда нет нужды распределять работы именно по 18 разрядам, достаточно, например, иметь 4-5 уровней сложности работ. В таких случаях организации приспособляются к указанной сетке, заполняя лишь отдельные «полки».

Другая важная функция ТОС – распределение работников по разрядам сетки. При этом за основу дифференциации работников берутся, как правило, принадлежность к той или иной социально-профессиональной группе организации и уровень профессиональной подготовки (компетентности). Рабочие занимают нижнюю часть сетки, специалисты и служащие – среднюю, руководители – верхнюю. Внутри этих групп работников распределяют по разрядам в зависимости от уровня профессиональной компетентности (с учетом образования, стажа, личных заслуг), то есть по уровню их трудового потенциала.

Следующей функцией ТОС является денежная оценка работ и трудового потенциала работников. Все виды работ получают оценку в виде тарифных ставок или окладов. Тем самым оцениваются и трудовой потенциал работников, распределенных по разрядам работ.

Таким образом, ТОС служит для распределения работ по их сложности, распределения работников по работам в зависимости от их трудового потенциала, денежной оценки работ и трудового потенциала работников. Широко распространено мнение о том, что ТОС есть система оценки труда, на самом же деле она совершенно не ориентирована на оценку труда, так как не может учесть продукт труда – единственный критерий оценки труда.

Задача заключается в том, чтобы, во-первых, оценить трудовой потенциал работника; во-вторых, оценить его трудовой вклад. Оценка трудового потенциала работника осуществляется через тарифные и бестарифные системы. При этом должно быть четко оговорено, что это не заработная плата, а цена трудового потенциала. Вознаграждение работника в виде зарплаты должно соответствовать не трудовому потенциалу, а трудовому вкладу. Иначе говоря, зарплата – это цена труда, а не трудового потенциала.

Термин «оценка» происходит от глагола «оценивать», что означает устанавливать (определять) чему-либо цену. Именно из этого семантического содержания термина «оценка» мы и исходим в своей работе. Отсюда следует, что оценка труда – это определение цены труда. Цена труда, как правило, выражается в деньгах, однако она может быть выражена в натуральных продуктах (натуроплата).

Для рабочих-сдельщиков денежная оценка труда осуществляется путем умножения расценки на число изделий. Для рабочих-повременщиков, руководителей, специалистов и служащих нужны иные способы расчета цены их труда, косвенные методы, так как эти категории работников непосредственно продукт труда не производят. Тем не менее необходимо определять их трудовой вклад и оценивать его, в противном случае уравниловку в оплате преодолеть не удастся. В связи с изложенным встает сложная и весьма актуальная задача – научиться оценивать труд повременщиков и окладников.

Исходным положением в данном случае должно послужить очевидное обстоятельство – труд коллектива организации оценивает рынок. Именно с рынка приходят денежные средства, часть которых как раз и представляет собой цену труда коллектива организации – фонд заработной платы. Чем эффективнее труд коллектива, тем выше оценка его труда, и наоборот. Однако это лишь общее правило. В каждом конкретном случае на оценку труда коллектива организации влияет также распределение вырученных средств между наемным персоналом и собственниками. Тем не менее тенденция очевидна: чем эффективнее труд, тем больше объем реализованной продукции и возможности повышения оценки коллективного труда (ФЗП). Следовательно, дело только за тем, чтобы разработать механизм реализации этой тенденции. Для этого нужно связать показатели оценки труда коллектива организации с объемом товарной продукции и объемом продаж. Тогда рынок войдет внутрь организации и заставит ее приспособить внутренний хозяйственный механизм к требованиям рынка.

Однако проблема оценки труда этим не исчерпывается. Необходимо научиться оценивать труд коллективов структурных подразделений организации. Обычно он не оценивается, за исключением тех производственных организаций, в которых планируются и учитываются показатели производства основных цехов. Что же касается труда коллективов структурных подразделений вспомогательного производства и управления, то практически его нигде не оценивают.

По этой причине именно во вспомогательных, обслуживающих подразделениях и управлениях организаций господствует уравниловное распределение ФЗП. Чтобы преодолеть «уравниловку», необходимо научиться оценивать коллективный труд, а для этого надо дать структурным подразделениям показатели оценки коллективного труда, учитывать их выполнение, определять трудовой вклад каждого коллектива и жестко связать ФЗП коллектива с результатами его работы.

В условиях рынка фонд зарплаты должен формироваться «по-рыночному», не так, как в плановой экономике. В последней, как известно, ФЗП организации есть сумма индивидуальных зарплат. В сравнительно устойчивой экономике этот метод не приводил к каким-либо значительным негативным последствиям: за экономию ФЗП руководителей организации поощряли, за перерасход «журили», но дефицит зарплаты погашали за счет ресурсов вышестоящей организации. В условиях рынка этот механизм не годится, он уже привел к серьезнейшим негативным последствиям в виде задолженности по ФЗП. Организации по-прежнему формировали ФЗП как сумму индивидуальных зарплат, которые никак не были связаны с результатами труда ни работников, ни коллективов. Рынок оценивал труд коллективов все ниже и ниже, а организации продолжали начис-

лять зарплату «по-социалистически». Однако неизбежно возникающий при этом дефицит ФЗП гасить было уже некому.

Произошел разрыв между механизмом действия рынка и внутренним хозяйственным механизмом организаций. Между оценкой труда на рынке и «плановой» оценкой труда внутри организации появилось острое противоречие. Его можно разрешить, только приводя оценку труда внутри организации к рыночному принципу, т.е. по результату труда.

Таким образом, оценка труда начинается не внутри, а вне организации – на рынке. И только рынок может сказать, чего стоит труд коллектива, он же и отмерит ту величину ФЗП, которую можно распределять внутри организации.

Полученный ФЗП необходимо затем распределить сначала между структурными подразделениями организации, а затем уже между работниками. Как видим, ФЗП формируется при тарифно-окладной системе снизу вверх – от индивидуальной зарплаты к ФЗП организации. В условиях рынка ФЗП должен формироваться сверху (на рынке) и затем, распределяясь, направляться вниз, завершая свое движение в виде индивидуальной зарплаты. При таком подходе не будет ни задолженности по зарплате, ни ее экономии, так как распределяться будет тот ФЗП, который заработан, который имеется у организации, а не тот, который ей «положен».

В соответствии с изложенными теоретическими положениями нами была разработана система оценок индивидуального и коллективного труда. Во всех случаях в качестве критерия оценки труда мы принимаем результат труда, полезный эффект труда, оцененный по итогам за месяц.

Оценке труда в развитых странах традиционно придается большое значение. На протяжении многих десятилетий разрабатывались и проверялись на практике десятки (возможно, сотни!) систем оценки и оплаты труда. Прежде всего обращает на себя внимание сосредоточенность науки и практики на оценке индивидуального труда. Именно для оценки труда отдельного работника приспособлены японские, североамериканские и европейские методики. Таким образом, организация рассматривается не как совокупный работник, не как единый коллектив, а как сумма индивидуальных работников. В связи с этим в центре внимания оказываются индивидуальные экономические интересы, стимулирование индивидуального труда. Коллективные экономические интересы – интересы всего персонала организации и ее структурных подразделений – редко используются в процессе стимулирования труда, что, бесспорно, обедняет систему стимулирования, не позволяет задействовать мощные мотивационные резервы персонала. Здесь скрываются большие возможности роста эффективности труда и производства в развитых странах [3, 4].

#### **Оценка коллективного и индивидуального труда в Системе «РОСТ»**

В общественном сознании широко распространено заблуждение, согласно которому «мы плохо работаем, потому что нам мало платят». Отсюда делают вывод: если зарплата вырастет, то работать россияне станут лучше. Однако на практике такой связи не наблюдается. Увеличение зарплаты без учета труда вовсе не улучшает отношение к нему. Но если жестко связать зарплату с трудом, тогда за ту же зарплату люди начинают работать лучше, так как ее нужно «зарабатывать», а не «получать». Связь труда и зарплаты в общественном мнении должна претерпеть изменение: «чтобы много получать, надо много работать». Именно такую философию воспитывает система «РОСТ».

Наш многолетний опыт работы в организациях разных отраслей со всей очевидностью показал, что «камнем преткновения» в стимулировании и мотивации труда является именно оценка труда. И если эту проблему не решить, то нечего и рассчитывать на высокоэффективный труд на российских предприятиях. Разработка и внедрение нами рыночной системы стимулирования труда «РОСТ» как раз и были нацелены на решение этой социально-экономической задачи. Название системы «РОСТ» расшифровывается таким образом: Рыночная оценка и стимулирование труда. В центре данной системы стоит оценка коллективного и индивидуального труда [5]. Оплата труда коллективов и работников производится строго в соответствии с ежемесячной оценкой их труда.

#### **Оценка труда персонала организации**

При неизменной структуре персонала и рабочем времени в месяце в организации, как правило, ежемесячно начисляется практически один и тот же фонд зарплаты, при этом теряется всякая связь вознаграждения коллектива с его трудом, с итогами работы. Вот, например, как менялись объем производства, реализации продукции и фонд зарплаты на металлургическом заводе (табл. 1).

Соотношение роста производства и реализации товарной продукции с ростом ФЗП на металлургическом заводе

Месяцы	Объем реализованной продукции		Производство товарной продукции		ФЗП по ТОС	
	факт, тыс. руб.	в % к пред. мес.	факт, тыс. руб.	в % к пред. мес.	факт, тыс. руб.	в % к пред. мес.
Январь	196038,8		223033,4		14328,34	
Февраль	333194,8	170	371486,5	167	14705,58	102,6
Март	261846,0	79	385416,8	104	21460,18	146,0
Апрель	546444,2	209	623569,6	162	19593,50	91
Май	333354,4	61	424061,6	68	19448,02	99
Июнь	410256,4	123	439022,5	127	22393,09	115
Июль	495753,6	121	557598,9	103	21512,52	96,1
Август	632457,8	128	624745,2	112	24294,75	113
Сентябрь	400425,0	63	477560,4	76	25428,70	105

В феврале объем производства вырос на 167 %, выручка – на 170 % по сравнению с январем, а фонд зарплаты повысился на 102,6 %. В марте объем производства вырос на 104 %, выручка упала до 79 %, а фонд зарплаты увеличился на 146 %. В августе объем производства вырос на 112 %, выручка выросла до 128 %, а ФЗП вырос на 113 % и т.д. Разве может такая «арифметика» породить у персонала желание больше производить продукции? В головах у работников утверждается вывод: зарплата не зависит от труда и его продукта, ее нам дают столько, сколько пожелают руководители и собственники. Отсюда рождается практическое руководство к действию: «надо нажать на собственников, чтобы они раскошелились!» Это прямой путь к забастовкам и конфликтам.

В Системе «РОСТ» фонд зарплаты организации формируется иначе. Его величина зависит от динамики основных экономических показателей производства и реализации товаров и услуг за месяц. Чем лучше сработал коллектив, чем больше произвел и продал, тем больше фонд зарплаты. Величина ФЗП ставится, в частности, в прямую зависимость от объема реализованной продукции.

Эта связь в системе «РОСТ» осуществляется через норматив «зарплатоемкость реализованной продукции». Он показывает, сколько копеек зарплаты содержится в каждом рубле выручки. Подсчитывается он путем деления начисленного ФЗП за предшествующий период (год, полгода, квартал) на объем продаж за тот же период. По сути дела, так фиксируется фактически сложившееся усредненное соотношение ФЗП и объема реализации товаров и услуг:

$$ЗПЕ = \frac{ФЗП(руб.)}{Объемреализ.(руб.)}, \quad (1)$$

где *ЗПЕ* – зарплатоемкость реализованной продукции; *ФЗП* – фонд заработной платы за предшествующий период; *Объем реализ.* – объем реализованной продукции за тот же период.

Использование «зарплатоемкости» для формирования ФЗП снимает ряд сложных проблем. Так, при падении выручки соответственно снижается ФЗП, при этом не возникает задолженности по заработной плате. Более того, в принципе появляется механизм регулирования уровня зарплаты, способный гасить ранее образовавшиеся долги.

В свою очередь, значительный рост объемов продаж может привести к повышению уровня средней зарплаты, превышающему разумные пределы. Тогда возможно понизить «зарплатоемкость», а образовавшийся резерв ФЗП направить на погашение задолженности по оплате. Если же ее нет, то высвобождающиеся средства перемещаются в прибыль, используются для развития организации.

Однако объем продаж далеко не всегда отражает трудовые усилия коллектива. Он может вырасти или упасть в зависимости от динамики цен, конъюнктуры рынка. В обоих случаях теряется жесткая связь с трудом коллектива, что нежелательно, так как снижается мотивация труда: возможен рост объема выручки при снижении объема производства и, наоборот, снижение объема продаж при увеличении объема товарной продукции. В связи с этим необходимо увязать размер ФЗП не только с объемом реализации, но и с трудовыми показателями, такими как объем производства товарной продукции, материальные затраты на 1 руб. товарной продукции, производительность труда, качество продукции и т.д. Иначе говоря, необходимо также рассчитывать ФЗП по труду в соответствии с оценкой труда коллектива организации за истекший месяц.

ФЗП по реализации подсчитывается по формуле

$$ФЗП_{реал} = ЗПЕ \times Объемреализ. \quad (2)$$

Фонд зарплаты по труду рассчитывается следующим образом:

$$\Phi ЗП_{\text{труд}} = \Phi ЗП_{\text{баз}} \times КЭП, \quad (3)$$

где  $\Phi ЗП_{\text{баз}}$  – базовый среднемесячный ФЗП, по которому рассчитывается зарплатоемкость реализованной продукции (ЗПЕ);  $КЭП$  – коэффициент эффективности производства за отчетный месяц. Он рассчитывается по формуле:

$$КЭП = K_1 \times Z_1 + K_2 \times Z_2 + \dots + K_n \times Z_n, \quad (4)$$

где  $K_1, K_2, \dots, K_n$  – показатели оценки труда коллектива организации за отчетный месяц (объем реализации продукции, объем производства товарной продукции, материальные затраты на 1 руб. товарной продукции и т.д.);  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  – коэффициенты значимости показателей оценки труда.

Базовый ФЗП используется один раз – в первый месяц работы по Системе «РОСТ». Он позволяет обеспечить нормальные (средние) стартовые условия перехода. В последующие месяцы за базу берется ФЗП предшествующего месяца. В противном случае при росте объемов производства и реализации товарной продукции и услуг не будет параллельного роста ФЗП, он окажется «замороженным». Так что за год объемы производства и реализации могут вырасти в разы, а ФЗП вырастет лишь на несколько процентов. Не будет корреляции итогов работы и ФЗП и в случае падения объемов производства и реализации.

Менеджмент организации должен учитывать возможности своего производства, требования рынка и каждый раз оперативно и гибко реагировать на них при планировании текущей деятельности, выделяя главные экономические показатели, придавая им особо важное значение, настраивая персонал на их безусловное выполнение. Иначе говоря, всем основным экономическим показателям, учитываемым при оценке работы организации, необходимо присваивать коэффициенты значимости или веса. Показателю, имеющему важнейшее значение, необходимо присваивать наибольший коэффициент значимости.

Коэффициент эффективности производства позволяет предприятиям оперативно реагировать на изменения внешней среды. Это та «лакмусовая бумажка», которая быстро сигнализирует организации об изменениях на рынке, дает информацию для принятия управленческих решений.

Величина интегрального показателя бывает более единицы, менее единицы и равная единице. Если КЭП больше единицы, то коллектив организации сработал хорошо (лучше), если меньше единицы – плохо (хуже), если равен единице, то сработал в соответствии с планом (если сравнение идет с планом) или на уровне предыдущего месяца (если сравнение идет с фактом предыдущего месяца). Таким образом, у организации появляется инструмент интегральной оценки текущей деятельности, возможность ответить на поставленный выше вопрос.

В тех случаях, когда объем реализации растет быстрее, чем трудовой вклад коллектива, фонд зарплаты по реализации превосходит фонд зарплаты по труду. Разница между ними становится резервным фондом зарплаты и какое-то время вращается в оборотных средствах предприятия. Когда же объем реализации падает или растет медленнее, чем трудовой вклад коллектива, фонд зарплаты по труду оказывается больше фонда по реализации. В этом случае дефицит ФЗП покрывается за счет резервного фонда зарплаты. Резервный фонд позволяет смягчать резкие колебания ФЗП при взлетах и падениях объема реализации, нивелировать сезонные колебания фонда оплаты труда (при сезонных колебаниях объемов производства и продаж).

Новые условия формирования ФЗП ставят в «рыночное» положение трудовой коллектив. Меняются психология и экономическое поведение работников. Они начинают осознавать, что никаких гарантированных уровней оплаты труда (кроме установленных государством), как и гарантии самого труда, теперь нет, все зависит от конкурентоспособности товаров и услуг, объема их продаж, а следовательно, от них самих. Объемом продаж, его динамикой интересуются все, так как понимают, что от этого зависит зарплата каждого. Так рынок зримо и непосредственно входит в жизнь коллектива и заставляет изменить внутренний хозяйственный механизм организации, чтобы адаптироваться к внешней среде.

В сознании и поведении работников по мере освоения Системы «РОСТ» происходят существенные изменения. По сути дела, происходит переход от «планового работника» к «рыночному работнику». У первого на переднем плане – объем производства, у второго – объем реализации товаров и услуг. Первый не хочет видеть связь своей зарплаты с рыночными результатами, с выручкой. Второй понимает, что зарплата рождается не в производстве, а на рынке. Первому все равно, с какими затратами производятся товары и услуги. Второй знает, что экономия в большом и малом усиливает позиции организации на рынке, следовательно, ведет к росту реализации, а значит, и зарплаты и т.д.

### Оценка труда коллективов структурных подразделений организации

Полученный ФЗП организации необходимо распределить так, чтобы сам способ распределения вызывал желание у коллективов и работников структурных подразделений работать больше и лучше. Для этого нужно жестко связать ФЗП подразделений с их вкладом в общие итоги труда организации. Так возникает следующая важная задача – оценка труда коллективов подразделений.

Труд коллектива всей организации оценивает и вознаграждает рынок. Но рынок не может непосредственно оценить труд коллективов структурных подразделений организации, так как они не выходят на него с продуктами своего труда. Эту задачу должна решать сама организация. К сожалению, в подавляющем большинстве организаций коллективный труд работников структурных подразделений не оценивается. Исключением являются лишь те организации, в которых формируются отдельные фонды зарплаты цехов основного производства и устанавливаются для них показатели премирования.

Что же касается отделов и служб управления, подразделений вспомогательного производства и т.д., то их коллективный труд не оценивается, отдельного ФЗП не формируется, а зарплата распределяется индивидуально по работникам. Тем не менее все они распределены по структурным подразделениям, т.е. являются членами отдельных коллективов. Однако их личные экономические интересы не переплетаются, коллективного экономического интереса не возникает. Их объединяет лишь штатное расписание. Но если нет коллективного экономического интереса, то и нельзя опереться на него при решении производственных задач. На практике коллективный интерес явно недооценивается, не используются мощные рычаги управления и стимулирования коллективного труда. Происходит перескакивание от экономического интереса коллектива всей организации к индивидуальному интересу, минуя интерес коллективов структурных подразделений. Здесь скрывается большой резерв роста эффективности производства товаров и услуг. И резерв этот лежит на поверхности: каждая организация есть сумма коллективов структурных подразделений, дело лишь за тем, чтобы научиться оценивать их труд и вознаграждать по труду. В Системе «РОСТ» эта задача решается следующим образом.

Каждому структурному подразделению устанавливаются три-четыре и более оценочных показателей, которые зависят от него, и определяют его вклад в общие результаты работы организации. По сути дела, это результативные показатели работы организации и структурного подразделения, связанные с его функциональными обязанностями, ради которых оно и создано. В организациях такими структурными подразделениями являются управления, службы, отделы, цехи, участки и т.д.

Итоги работы подводятся ежемесячно. Базой сравнения являются фактические результаты работы предыдущего месяца, планы и нормативы. Задача коллектива структурного подразделения заключается в том, чтобы сработать лучше, чем прежде. При этом вознаграждение коллектива возрастает.

Механизм вознаграждения коллективов следующий. Коллективам подразделений устанавливается их доля в ФЗП организации. Эта доля исчисляется по фактически начисленной зарплате за предыдущий период (год, полгода, квартал) или по штатному расписанию. По сути дела, фиксируется та доля в ФЗП, которую систематически получали те или иные коллективы. Эта базовая доля и закрепляется за ними:

$$Д_{баз} = \frac{ФЗП_{подр.баз.}}{ФЗП_{орг.баз.}}, \quad (5)$$

где  $Д_{баз}$  – базовая доля ФЗП подразделения в ФЗП организации, исчисленная за предыдущий (базовый) период (за год, полгода, квартал);  $ФЗП_{подр. баз.}$  – фонд зарплаты подразделения в базовом периоде;  $ФЗП_{орг. баз.}$  – фонд зарплаты организации в базовом периоде.

Данная доля, рассчитанная по формуле, корректируется по итогам работы за месяц в зависимости от степени выполнения коллективом показателей оценки труда. Последние находят интегральное выражение в коэффициенте трудового вклада коллектива (КТВ). Формула расчета КТВ такова:

$$КТВ = K_1 \times Z_1 + K_2 \times Z_2 + \dots + K_n \times Z_n, \quad (6)$$

где  $K_1, K_2, \dots, K_n$  – показатели оценки труда подразделения;  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$  – коэффициенты значимости показателей.

В том случае, если, например, коллектив за истекший месяц превысил установленные показатели, то его КТВ будет больше единицы. Если коллектив понизил свои результаты, то его КТВ будет меньше единицы. В обоих случаях величина КТВ прямо повлияет на долю ФЗП коллектива в ФЗП организации, что видно из следующей формулы:

$$Д_{итог} = Д_{баз.} \times КТВ, \quad (7)$$

где  $Д_{итог.}$  – итоговая (скорректированная на результаты работы за месяц) доля ФЗП коллектива в ФЗП организации;  $Д_{баз.}$  – базовая (установленная из опыта предшествующей работы за год, полу-

годие, квартал) доля коллектива в ФЗП организации;  $КТВ$  – коэффициент трудового вклада коллектива за истекший месяц.

ФЗП подразделения определяется следующим образом:

$$ФЗП_{подр.} = Дитог \times "Цена"_{КТВ} . \quad (8)$$

«Цена» единицы КТВ определяется по формуле

$$"Цена"_{КТВ} = \frac{ФЗП_{орг} \text{ к распр.}}{\sum КТВ_{подр.}} \quad (9)$$

где  $ФЗП_{орг. \text{ к распр.}}$  – фонд заработной платы организации, предназначенный к распределению по труду;  $\sum КТВ_{подр.}$  – сумма КТВ структурных подразделений организации.

Пришедший сверху ФЗП предприятия разделяется на две части: фонд основной зарплаты и премиальный фонд. Последний рассчитывается следующим образом:

$$Ф_{прем.} = ФЗП - ФЗП_{осн.}, \quad (10)$$

где  $Ф_{прем.}$  – премиальный фонд подразделения;  $ФЗП$  – фонд заработной платы подразделения;  $ФЗП_{осн.}$  – фонд основной зарплаты подразделения (сумма окладов, тарифов, сдельных зарплат, установленных доплат и надбавок).

При таком подходе устанавливается прямая материальная ответственность всех коллективов за результаты выполнения своих функциональных обязанностей. Коллектив структурного подразделения получает возможность влиять на величину своего ФЗП, от него зависит, возрастет или снизится его вознаграждение за труд. Это делает экономически выгодными всякие инициативы, новшества, экономию средств и т.д.; и материально невыгодной становится пассивная позиция коллектива.

Изложенный механизм оценки и оплаты труда коллективов структурных подразделений позволяет тесно переплести экономические интересы всей организации с интересами коллективов её структурных подразделений. ФЗП коллектива становится функцией от двух основных факторов: от итогов работы всей организации и от трудового вклада самого коллектива. Все получают возрастающую зарплату от улучшения дел во всей организации и, вместе с тем, никто не может «отсидеться» за широкой спиной коллектива.

Аналогичным образом оценивается труд коллективов структурных подразделений (подструктур) внутри служб и управлений. У каждой подструктуры имеются свои показатели оценки месячного труда и базовая доля ФЗП в ФЗП службы, управления. В зависимости от выполнения этих показателей доли ФЗП подструктур в соответствующем ФЗП корректируются в большую или меньшую сторону с помощью КТВ. Аналогичное положение в цехах: у каждого структурного подразделения цеха также имеются показатели оценки труда, доли ФЗП в ФЗП цеха и КТВ по итогам месяца.

В связи с тем, что зарплата каждого работника зависит от величины фонда заработной платы структурного подразделения, появляется личный материальный интерес в росте этого ФЗП. Индивидуальные экономические интересы начинают совпадать, переплетаться. Возникает и укрепляется коллективный экономический интерес: нужно сообща работать лучше, чтобы заработать больший ФЗП. Этот коллективный интерес система «РОСТ» ставит на службу организации. В средней и крупной организации коллективные интересы «работают» на четырех уровнях управления из пяти (табл. 2).

На первом уровне действует коллективный интерес всей организации. Он состоит в том, чтобы за счет роста объема производства и реализации продукции сформировать возросший фонд заработной платы.

Таблица 2

Структура экономических интересов организации

Виды интересов	Уровни управления
Коллективные	Первый уровень – организация
	Второй уровень – управление организации, производственная, техническая, коммерческая службы и т.д.
	Третий уровень – цехи, отделы
	Четвертый уровень – участки, смены, бюро, секторы
Индивидуальные	Пятый уровень – работники

На втором уровне «работают» экономические интересы крупных структурных подразделений: производственной, технической, финансово-экономической службы, службы управления персоналом и т.п. Их интерес состоит в том, чтобы за счет роста трудового вклада увеличить долю ФЗП службы в общем ФЗП организации.

На третьем уровне действуют экономические интересы коллективов структурных подразделений и служб второго уровня. В производственной службе это интересы цехов, в технической – интересы отделов, цехов и т.д.

На четвертом уровне действуют экономические интересы первичных коллективов: смен, бригад, бюро и т.п. И только на пятом уровне реализуются индивидуальные экономические интересы. Таким образом, в Системе «РОСТ» основная ставка сделана на коллективные интересы. Именно они пронизывают все звенья коллектива организации, сплачивают его вокруг стратегических и тактических целей организации.

В условиях Системы «РОСТ» величина ФЗП организации рассчитывается в зависимости от итогов работы организации и утверждается ежемесячно генеральным директором. Только после этого возможно определить величину вознаграждения коллективов всех структурных подразделений. Поэтому поток этой информации зарождается на самом верху и спускается вниз до бригады, участка, отдела, работника. Такой внутренний механизм организации диктуется рынком. Тысячи российских организаций наказаны рынком именно за несоблюдение этого требования.

Показатели оценки труда мобилизуют коллективы структурных подразделений на реализацию своих целей, но они не мотивируют их выполнять свои обязанности перед другими коллективами. Получив свои показатели оценки труда, коллективы структурных подразделений сосредотачивают свои усилия на их выполнении. При этом создается объективная основа ослабления внимания к выполнению обязанностей перед другими коллективами организации. Например, автотранспортная служба получает следующие показатели: объем грузоперевозок в тонно-километрах и расход горючесмазочных материалов на 1 км пробега. Сразу же все заказы на перевозки грузов распадаются на выгодные и невыгодные. Если дан заказ перевезти 10 тонн груза за 500 км, то он будет выполнен срочно. Если же нужно привезти 200 кг гвоздей с соседнего предприятия, то вряд ли этот заказ будет выполнен в срок. Найдется много причин, чтобы отложить его выполнение на потом.

Всякая организация есть не что иное, как кооперация труда структурных подразделений, и товарная продукция есть результат взаимодействия многих подразделений и работников. Поэтому так важно породить экономический интерес и ответственность коллективов за исполнение кооперационных обязанностей друг перед другом. В этих целях вводится система внутренних претензий. Действует она следующим образом.

Если коллектив службы, цеха, отдела пострадал от нерадивости какого-либо подразделения, то на виновника оформляется претензия. Претензия направляется, как правило, в отдел труда и заработной платы, который немедленно извещает об этом виновника. И если последний исправит положение в течение нескольких дней, то пострадавшее подразделение может снять претензию. Если же ущерб виновником не компенсирован, то претензия не будет отозвана и ляжет на стол вышестоящему руководителю при подведении итогов работы за истекший месяц. В этом случае понесет наказание руководитель виновного подразделения в виде снижения его премии.

С помощью системы претензий кооперация труда в организации поднимается на новый уровень. Панибратство, вседозволенность и всепрощение уступают дорогу слаженности, взаимной ответственности, четкости выполнения кооперационных обязанностей. Многие проблемы, которые были у всех на слуху и не решались годами, начинают решаться. Все это повышает эффективность производства и конкурентоспособность организации.

Уравнительность распределения зарплаты при тарифно-окладной системе нанесла и продолжает наносить экономике России огромный ущерб. Но не меньший вред наносит преимущественно наказательный характер этой системы. Она построена так, что в ней нет должного механизма поощрения инициативы, творчества как коллективов структурных подразделений, так и отдельных работников. Зато повсеместно действует механизм наказания коллективов и работников. Это так называемый механизм депремирования.

Уже давно не секрет, что наиболее ценным ресурсом любой организации являются трудовые ресурсы, ее персонал. Инвестиции в человека оказываются самыми эффективными в мире. В России уровень развития главной производительной силы общества довольно высок, однако потенциал этой силы используется из рук вон плохо. И одна из причин этого – неэффективная система трудовых отношений, порождающая уравнительное распределение зарплаты, имеющая преимущественно наказательный характер. Опыт Японии, США, европейских стран со всей очевидностью показывает, что эффективная экономика невозможна без всемерного развития инициативы и творчества персонала организаций. Следовательно, нужно коренным образом изменить систему стимулирования инициативы и творчества. В какой-то степени эту задачу решает Система «РОСТ». В ней заложены механизмы поощрения инициативного, творческого труда работников.



### Оценка труда работников

В Системе «РОСТ» для оценки индивидуального труда используется показатель – коэффициент трудового вклада работника (КТВ). Коэффициент трудового вклада рабочих-повременщиков, руководителей, специалистов и служащих определяется ежемесячно. Он зависит от результатов труда, уровня выполнения должностных обязанностей, трудовых усилий и инициативы работника, его дисциплины. Труд контролируется в течение месяца и оценивается по его итогам непосредственным руководителем. Таким образом, в руках руководителей оказывается мощный рычаг экономического воздействия на трудовое поведение подчиненных работников. Роль руководителей в коллективе существенно возрастает, что позитивно отражается на общих результатах труда.

Коэффициент трудового вклада руководителя зависит от коэффициента трудового вклада руководимого им подразделения. Чем выше успехи подразделения, тем больше КТВ и премия его руководителя. Таким образом, удается жестко связать вознаграждение руководителей всех уровней с итогами труда подчиненных им коллективов. Система «РОСТ», давая руководителям большие экономические права, возлагает на них и большую материальную ответственность за вверенный участок работы. Наряду с этим учитываются инициатива, новаторство, дисциплина и организованность руководителя, степень выполнения им должностных обязанностей и т.д.

КТВ руководителя рассчитывается следующим образом:

$$КТВ_{рук} = КТВ_{кол} \cdot (1 \pm Ккор), \quad (11)$$

где  $КТВ_{кол}$  – коэффициент трудового вклада подчиненного коллектива;  $Ккор$  – коэффициент корректировки, учитывающий поощрения и замечания руководителю. Отражает трудовую активность руководителя, проявления инициативы и т.д.

Рядовым работникам рассчитывается размер премии в соответствии с коэффициентом их трудового вклада:

$$КТВ_{раб} = 1 \pm Ккор, \quad (12)$$

где  $КТВ_{рук}$ ,  $КТВ_{раб}$  – коэффициенты трудового вклада рядового работника;  $Ккор$  – коэффициент корректировки, учитывающий поощрения и замечания к каждому конкретному работнику. Он отражает трудовую и творческую активность работников, производственную, трудовую дисциплину, выполнение требований корпоративной культуры и т.д.

Размер премии работникам, в том числе руководителям, рассчитывается следующим образом:

$$Прем = ЗП_{осн} \times КТВ_{раб} \times Норм_{прем.}, \quad (13)$$

где  $ЗП_{осн}$  – основная зарплата работника за отчетный месяц, состоящая из тарифов (окладов), надбавок и доплат в соответствии с существующей системой оплаты труда;  $КТВ_{раб}$  – коэффициент трудового вклада руководителя, работника;

$Норм. прем.$  – норматив премии, показывающий, сколько копеек премии приходится на один рубль скорректированной основной зарплаты в данном коллективе за истекший месяц.

$$Норм_{прем.} = \frac{\Phi_{прем.}}{\sum ЗП_{осн.скор.}}, \quad (14)$$

где  $\sum ЗП_{осн. скор.}$  – сумма основных зарплат работников, умноженных на их КТВ.

Она рассчитывается следующим образом:

$$\sum ЗП_{осн.скор} = \sum (ЗП_{осн.раб} \times КТВ_{раб}). \quad (15)$$

Корректировать основную зарплату работников необходимо для того, чтобы учесть их трудовой вклад и определить размер премии. Так как размер премии рассчитывается на рубль основной зарплаты, а она неизменна (оклад, месячная тарифная оплата и т.д.), нужно скорректировать основную зарплату, чтобы избежать уравнительного распределения премии.

Итак, размер премии работника зависит от результатов работы всей организации, итогов работы структурного подразделения, в котором он трудится, а также от его личного трудового вклада. Таким образом, удается тесно связать коллективные и личные экономические интересы в организации.

Каковы результаты применения Системы «РОСТ» на практике, можно показать на примере ОАО «Уралэлектромедь», в котором данная система работает с 2010 года. В 2010 году она дала следующие результаты (табл. 3).

Динамика коэффициентов трудового вклада работника ОАО

Период	КТВ<1		КТВ>1		КТВ=1	
	кол-во, чел.	доля в общей численности, %	кол-во, чел.	доля в общей численности, %	кол-во, чел.	доля в общей численности, %
Январь	456	5,2	1694	19,2	6659	75,6
Февраль	507	5,8	1811	20,6	6479	73,7
Март	505	5,8	1740	20,1	6402	74,0
1 квартал		5,6		20,0		74,4
Апрель	457	5,4	1286	15,2	6741	79,5
Май	427	5,0	1463	17,3	6586	77,7
Июнь	438	5,1	1526	17,9	6543	76,9
2 квартал		5,2		16,8		78,0
1 полугодие		5,4		18,4		76,2
Июль	424	5,0	1560	18,2	6567	76,8
Август	417	4,9	1453	17,2	6568	77,8
Сентябрь	413	4,9	1509	18,0	6473	77,1
3 квартал		4,9		17,8		77,2
9 месяцев		5,2		18,2		76,6
Октябрь	392	4,7	1493	17,8	6497	77,5
Ноябрь	401	4,9	1542	18,7	6315	76,5
Декабрь	349	4,3	1567	19,2	6230	76,5
4 квартал		4,6		18,6		76,8
2 полугодие		4,8		18,2		77,0
Сред. значение		5,1		18,3		76,6

Как видно из таблицы, примерно каждый четвертый работник (23,4%) имел оценку труда больше или меньше единицы, что свидетельствует о решении на практике крупной организационно-экономической задачи, стоящей перед подавляющим большинством российских предприятий, – преодоление уравнительного распределения зарплаты.

Следует отметить, что в ОАО количество поощрений (КТВ>1) превышает число наказаний (КТВ<1) в 3,6 раза. Это обеспечивает поощрительный характер применяемой системы оценки труда, что соответствует рекомендациям экономики и психологии труда.

Разработанная в рамках Системы «РОСТ» методика оценки труда по трудовому вкладу коллективов и работников прошла испытание временем. На практике доказана возможность оценки индивидуального и коллективного труда. На перешедших на эту систему заводах, строительных, сельскохозяйственных, торговых организациях, организациях связи и т.п. оценивают труд не только рабочих-сдельщиков, но и рабочих-повременщиков, руководителей, специалистов и служащих, а также трудовой вклад коллективов цехов, участков, служб, отделов, секторов, отделений и т.д. Такая оценка труда позволила существенно поднять заинтересованность персонала в труде, эффективность производства и на этой основе повысить уровень зарплаты работников и рентабельность производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белкин В.Н. Экономическая теория труда / В.Н. Белкин, Н.А. Белкина. РАН, УрО, Ин-т экономики – М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2007. 352 с.
2. Белкин В.Н. Повышение экономической и социальной эффективности труда: методологический аспект / В.Н. Белкин. М.: Экономика, 1980.
3. Волгин Н.А. Японский опыт решения социально-экономических проблем / Н.А. Волгин. М.: ОАО «Изд-во «Экономика», 1998.
4. Управление банком: организационные структуры, персонал и внутренние коммуникации / А.Д. Голубович, А.В. Ситнин, Б.А. Хенкин, Н.В. Самоукина. 2-е изд. испр. и доп. М.: АО «МЕНАТЕП-ИНФОРМ», 1995.
5. Белкин В.Н. Оплата по результатам (Рыночная система мотивации и стимулирования труда «РОСТ»): учеб. пособие по курсам «Экономика труда», «Основы менеджмента», «Управление персоналом» для специальностей «Экономика труда» и «Менеджмент организации» / В.Н. Белкин, Н.А. Белкина; УрСЭИ АТиСО. Челябинск, 2007. 166 с.

**Белкин Владимир Никифорович** –  
доктор экономических наук, профессор,  
директор Челябинского института (филиала)  
УрО РАН

**Vladimir N. Belkin** –  
Dr.Sc., Professor  
Director: Chelyabinsk Institute,  
(Part) Ural Division of the Russian Academy of Sciences

**Белкина Надежда Андреевна** –  
доктор экономических наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник  
Челябинского института (филиала)  
УрО РАН

**Nadezhda A. Belkina** –  
Dr.Sc., Associate Professor  
Leading Researcher  
Chelyabinsk Institute,  
(Part) Ural Division of the Russian Academy of Sciences

**Антонова Ольга Анатольевна** –  
кандидат экономических наук, доцент,  
старший научный сотрудник  
Челябинского института (филиала) УрО РАН

**Olga A. Antonova** –  
Ph.D., Associate Professor  
Leading Researcher  
Chelyabinsk Institute,  
(Part) Ural Division of the Russian Academy of Sciences

*Статья поступила в редакцию 17.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 656.13

**А.С. Кирясов**

## **ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

*На основе анализа текущего состояния транспортной системы регионов выявлены ключевые проблемы системы общественного транспорта и определены направления их решения. С целью создания устойчивой транспортно-логистической системы (УТЛС) автором предлагается использовать концепцию устойчивого развития. Рассмотрены основные составляющие УТЛС и систематизированы основные принципы их построения. Результатом исследования является комплекс управленческих мер и стратегий направленных на формирование УТЛС.*

Общественный транспорт, транспортно-логистическая система, устойчивое развитие, комплекс

**A.S. Kiryasov**

## **FORMING OF EFFECTIVE TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM OF THE REGIONAL LEVEL ON THE BASIS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT CONCEPT**

*Analysis of the current status of the regional transport system was carried out. The main problems of the public transport system were revealed and the directions for their decision were determined. The author suggests to use the concept of sustainable development for the purpose of creating the sustainable transport and logistisc system (STLS). The main components were considered, the basic principles of creation of STLS were systematized. The result of the research is the complex of managerial measures and strategies for STLS formation.*

Public transport, transport and logistic system, sustainable development, complex

При оценке качества жизни населения страны, особенно в крупных населённых пунктах, одними из приоритетных являются такие показатели, как уровень обеспечения транспортной подвижности и уровень транспортной доступности. Но, как показывают результаты проводимых исследований [1, 7], на протяжении уже двух десятилетий рост объёмов автомобильных перевозок и интенсивности дорожного движения происходит в условиях отставания темпов развития дорожной инфраструктуры. Таким образом, в результате значительно возросшей нагрузки на улично-дорожные сети

(УДС) городов и подъездов к ним значительно снизилась скорость и регулярность доставки грузов и пассажиров. Снижение скоростей движения, в свою очередь, ведёт к повышению на 20-30% себестоимости перевозок, росту транспортной составляющей в конечной стоимости продукции и услуг. В конечной цене российской продукции этот показатель достигает 15-20%, в то время как в США и Европе не превышает 7-10%.

В то же время рост задержек при перевозках пассажиров ведёт к резкому увеличению потерь свободного времени населения, а значит снижению качества жизни. В настоящее время в крупных российских городах участники дорожного движения теряют в течение суток от 30 до 60 минут своего времени из-за низких скоростей движения и простоев в случае возникновения транспортных заторов. Ввиду высокой загруженности УДС скорости общественного пассажирского транспорта (ОПТ) сегодня на 15-20% ниже рекомендованных нормативами. Интервалы движения наземного ОПТ в часы «пик» из-за заторов на 65% маршрутов превышают 15 мин.

Таким образом, анализ показал, что последние пять лет идет тенденция сокращения использования общественного транспорта. Это касается всех видов транспорта, как автобусного, так и городского электрического транспорта. Конечно, в большей мере это связано с тем, что жители используют личный транспорт и реализуют значительную часть собственной подвижности на собственных автомобилях.



Рис. 1. Принципы устойчивого развития

Но с другой стороны, по данным статистики общественный транспорт является убыточным и размер убытков возрастает. Например, в 2010 году для автобусного транспорта они достигли более 40 млрд. рублей. Это, естественно, не стимулирует перевозчиков развивать свой бизнес, а наоборот ведет к сокращению и, как следствие, постепенному уничтожению общественного транспорта.

Указанные обстоятельства определяют актуальность исследований, направленных на анализ существующих проблем общественного транспорта и выработку новых управленческих концепций, которые позволят изменить сложившуюся ситуацию.

Одним из современных направлений экономических исследований является формирование триединой концепции устойчивого развития [2, 3]. Триединство подразумевает, что концепция устойчивого развития появилась в результате объединения трех основных точек зрения: экономической, социальной и экологической (рис. 1).

Экономический подход к концепции устойчивости развития ориентирован на оптимальное использование ограниченных ресурсов и использование экологических – природо-, энерго-, и материалосберегающих технологий.

Социальная составляющая устойчивого развития связана с человеком и направлена на сохранение стабильности социальных и культурных систем. Важным аспектом этого подхода является справедливое распределение благ. Для достижения устойчивости развития современному обществу при-

дется создать более эффективную систему принятия решений в различных областях, в том числе и в сфере транспорта.

С экологической точки зрения устойчивое развитие должно обеспечивать целостность биологических и физических природных систем для текущего и будущих поколений.



Рис. 2. Составляющие УТЛС

Логическим развитием методов устойчивого развития является концепция устойчивой транспортно-логистической системы [3-5]. Она подразумевает формирование систем транспорта, которые согласуются с различными аспектами устойчивости (рис. 2).

Рассматривая концепцию устойчивости транспортной системы, нами было исследовано само понятие устойчивости в рамках логистической парадигмы.

Ведущие исследователи относят принцип устойчивости к одному из ключевых логистических принципов, в основе которого лежит свойство синхронизации в логистической системе. Таким образом, принцип синхронизации – четвертая составляющая УТЛС.

На основе проведенного анализа нами были рассмотрены и систематизированы основные принципы, на которых базируются каждая из перечисленных составляющих УТЛС [6, 8].

*Первая составляющая – социальная.* Она включает:

- обеспечение транспортной доступности населения к местам работы, обучения, а также к товарам и услугам;
- учёт интересов всех слоёв населения при формировании транспортной системы;
- обеспечение защиты здоровья (физического, психического и социального благополучия) и безопасности пассажиров при проектировании и эксплуатации транспортных систем;
- полный учёт экологических последствий при принятии управленческих решений в сфере транспорта, прежде всего автомобильного;
- обеспечение муниципалитетом эффективной работы транспорта на подведомственных территориях.

*Вторая составляющая – экономическая*

Устойчивая система должна быть экономически эффективной. Это означает, что при построении системы производится полный учёт затрат для расчёта стоимости социальных, экономических и экологических издержек с тем, чтобы вычислить адекватную финансовую нагрузку на потребителя транспортных услуг.

*Третья составляющая – экологическая.* Устойчивая система должна оказывать минимальное воздействие на окружающую среду. Основные принципы:

- проектирование транспортных магистралей должно проводиться с минимальным ущербом, наносимым природе, с сохранением исторических естественно-природных ландшафтных зон;
- разработка новых видов подвижного состава должна проводиться с учетом международных экологических норм, а автопарк, находящийся в эксплуатации, переоснащаться и модернизироваться для сведения к минимуму загрязнения природы;
- удовлетворение транспортных потребностей населения не должно вступать в противоречие с приоритетами охраны окружающей среды и здоровья граждан, не нарушать интересов будущих поколений;
- уровень выбросов и отходов должен быть снижен до возможностей природы поглощать их.

Возобновляемые ресурсы должны использоваться на уровне или ниже темпа их восстановления, а

невозобновляемые – на уровне или ниже темпов развития возобновляемых заменителей, воздействие на занимаемую землю должно быть сведено к минимуму.

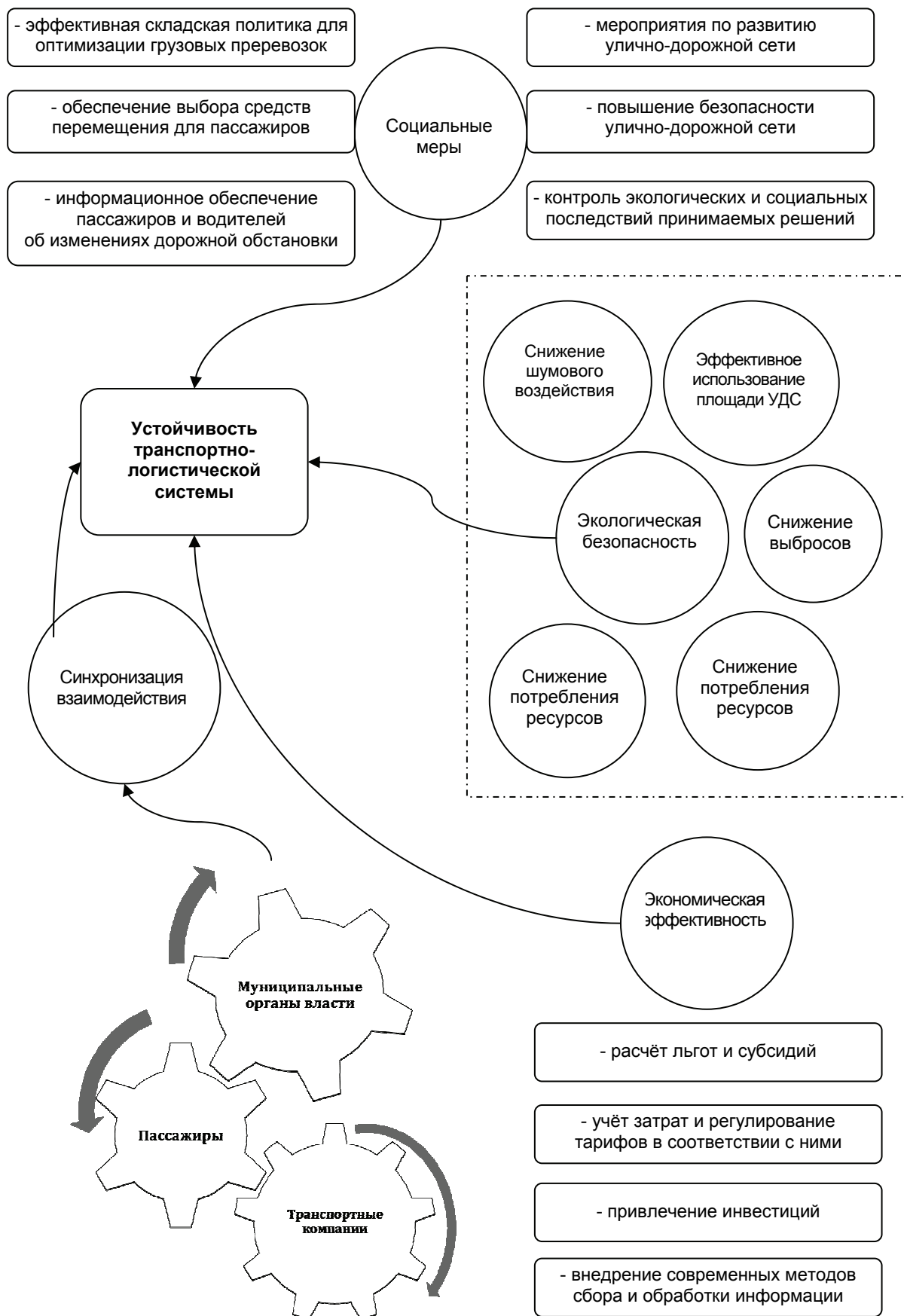


Рис. 3. Комплекс управленческих мер и стратегий для создания УТЛС

Четвёртая составляющая – свойство синхронизации. Построение устойчивой системы невозможно без обеспечения синхронизации взаимодействия и интересов сторон-участников процесса перевозки:

– синхронизация взаимодействия описывает процессы синхронизации на уровне отдельных логистических систем, которые вступают друг с другом во взаимодействие и этим обеспечивается согласование параметров входящих и выходящих потоков различного вида;

– синхронизация интересов проявляется на уровне элементов логистической системы (отдельных ее субъектов) и определяет условия протекания логистических процессов, которые удовлетворяют целям всех участников, максимизируя их общую выгоду.

Для достижения вышеуказанных принципов устойчивой транспортно-логистической системы нами предлагается комплекс управленческих мер и стратегий, разработанный в рамках данного исследования, который включает приоритетные преобразования, направленные на обеспечение экологической безопасности и повышение социально-экономической эффективности транспортной деятельности (рис. 3).

Предложенный комплекс мер отражает основные стратегические направления для создания УТЛС. Но также следует отметить, что разные меры иногда требуют разных решений и в силу этого могут вступать в конфликт. В результате поддерживать баланс в данном пакете мер политики не всегда легко и нужно достигать компромиссы. Например, меры управления движением ради ослабления шума и повышения безопасности могут отличаться от предназначенных ослабить заторы на дорогах. На другом уровне возможны потенциальные конфликты между определенными экономическими стимулами к увеличению габаритов подвижного состава, ради улучшения доступа, и мерами повышения топливной эффективности транспортных средств и, тем самым, снижения выбросов CO<sub>2</sub>.

Кроме того, следует отметить, что эффективность реализации комплекса мер и стратегий зависит не только от их скоординированного внедрения, но и от очередности их реализации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 № 1734-р.
2. Устойчивое развитие. Методология и методики измерения / С.Н. Бобылев, Н.В. Зубаревич, С.В. Соловьева, Ю.С. Власов // Экономика, 2011, С. 360
3. Акимова Т.А. Экономика устойчивого развития / Т.А. Акимова, Ю.Н. Мосейкин. М.: Экономика, 2009. 432 с.
4. Трегубов В.Н. Прогнозирование показателей развития логистической системы общественного транспорта на основе методологии синхронизации / В.Н. Трегубов // Вестник СГТУ. 2011. № 1 (52) С. 259-268.
5. Трегубов В.Н. Логистика и синхронизация в системе пассажирского транспорта / В.Н. Трегубов // Российское предпринимательство. 2010. № 6. Вып. 2. С. 142-146
6. Трегубов В.Н. Концепция синхронизации как основа администрирования в самоорганизующихся логистических системах / В.Н. Трегубов // Вестник СГТУ. 2010. № 4 (50). Вып. 2. С. 175-180.
7. European Conference of Ministers of Transport (ECMT) Safe and Sustainable Transport. A Matter of Quality Assurance, 2003.
8. Донченко В. Транспортная политика и проблемы устойчивого развития / В. Донченко. URL: <http://www.omnibus.ru/technology/technology6/>
9. Heywood J.B. More Sustainable Transportation: The Role of Energy Efficient Vehicle Technologies / J.B. Heywood // OECD International Transport forum, Leipzig, Germany, 28-30 May. 2008.

**Кирысов Александр Сергеевич** –  
аспирант Саратовского государственного  
технического университета имени Гагарина Ю.А.

**Alexander S. Kiryasov** –  
Postgraduate  
Gagarin Saratov State Technical University

О.Е. Кузьмина

### ВЫЯВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ, А ТАКЖЕ ПОКАЗАТЕЛИ УСЛОВИЙ РАЗВИТИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА

*Малые предприятия в силу ряда своих особенностей, таких как чёткая и простая организационная структура, содержащая минимальное количество промежуточных звеньев и обеспечивающая предприятию максимальную рентабельность, уже удовлетворяют требованиям инновационного процесса. Ранее главным фактором экономического роста строительных предприятий являлись инвестиции в любую область строительства, в нынешнее время произошло передвижение преимуществ в область нововведений.*

Инновационный потенциал, факторы, влияющие на инновационный потенциал, внутренние и внешние условия развития малых предприятий

O. E. Kuzmina

### IDENTIFICATION OF INFLUENCING FACTORS AND INDICATORS OF CONDITIONS FOR THE DEVELOPMENT OF SMALL ENTERPRISES TO ESTIMATE THE INNOVATIVE POTENTIAL

*Small businesses due to a number of features, such as a clear and simple organizational structure, containing the minimum number of intermediate links providing the enterprise maximum profitability have already meet the requirements of the innovation process. Previously the main factor for economic growth at construction enterprises were investments in any area of construction, whereas currently there has been a movement towards the advantages in the area of innovations.*

The innovative potential of the factors influencing the innovation potential, internal and external conditions of development of small enterprises

Понятие инновационного потенциала малых предприятий – это не только небольшой размер предприятия, но и юридическая обоснованность, осуществляющая определенный вид экономической деятельности на высокорисковой основе, на абсолютной экономической ответственности, и гибких управленческих указаний, в ходе чего и получается максимально возможный предпринимательский доход совместно с реализацией намеченных целей, за счет активизации инновационного потенциала. Инновационный потенциал малого предприятия – это возможность дополнения инновационного использования продукции и технологий новшеством технико-технологического характера для повышения результативности деятельности.

Таблица 1

Выявление факторов, влияющих на инновационный потенциал

Факторы	Внешние	Внутренние
Организационно-управленческие характеристики факторов	Развитость инновационной инфраструктуры Устойчивые сдвиги в структуре потребления Характер конкуренции на определенных рынках	Научно-технический потенциал Управленческий потенциал
Экономические характеристики факторов	Платежеспособный спрос на инновации Общие тенденции развития экономики	Кадровый потенциал Маркетинговый потенциал Финансовые ресурсы
Социальные характеристики факторов	Социально-экономическая ситуация в регионе Качество образования Тенденции НТП	Информационные ресурсы

К факторам прямого воздействия на потенциал инновационного развития малых предприятий можно отнести покупателей, поставщиков, конкурентов, а также акционеров. А основными факторами косвенного



воздействия на потенциал инновационного развития малых предприятий являются экономическая, политическая, экологическая, юридическая, рыночная, технологическая, социальная составляющие, т.е. факторы воздействия, влияющие на деятельность предприятия, на которые руководство повлиять не в силах.

Только при детальном изучении каждого из факторов, влияющих на инновационный потенциал региона, можно достичь устойчивого инновационного развития.



#### Влияние доминирующих и рецессивных факторов на оценку инновационного потенциала

Принимая во внимание стратегический характер решений, а также уровень инновационного потенциала главное оценивать с учетом особенностей внутренней и внешней среды. Именно представленные факторы замедляют или стимулируют развитие оценки инновационного потенциала малых предприятий. Подход к оценке инновационного потенциала с помощью комплексной системы показателей, позволяет наполнять как суммарными данными масштаба, так и осредненными, долевыми и др. показателями<sup>1</sup> (табл. 2, 3).

Данная комплексная система показателей, характеризующая деятельность малых предприятий, на наш взгляд, обширна и может применяться к различным областям деятельности малых предприятий, необходимо внести коррективы для непосредственной оценки развития инновационного потенциала малых предприятий строительного комплекса.

Ресурсная составляющая инновационного потенциала является неким полигоном для его формирования<sup>2</sup>. Она включает различное функциональное назначение, такое как материально-технические, информационные, финансовые, человеческие и другие виды ресурсов. Следующей составляющей инновационного потенциала является результативная, которая выступает отражением конечного результата реализации имеющихся возможностей (в виде исходного продукта, полученного посредством осуществления инновационного процесса). Следует, что она – своего рода целевая характеристика инновационного потенциала. Эта составляющая, сама являясь результатом количественного и качественного изменения, несет в себе потенциальные возможности вывода на новый уровень функционирования как инновационного потенциала, так и системы в целом. Заключительной составляющей инновационного потенциала является внутренняя составляющая – так называемый «двигатель», обеспечивающий дееспособность и эффективность функционирования всех предыдущих элементов. В целом указанная составляющая характеризует возможность целенаправленного осуществления инновационной деятельности, то есть определяет способность системы на принципах коммерческой результативности привлекать ресурсы для инициирования, создания и распространения различного рода новшеств. Таким образом, внутреннюю составляющую можно охарактеризовать через процессы создания и внедрения нового продукта, обеспечения взаимосвязи новатора как с наукой, предоставляющей прогрессивные идеи, так и рынком, потребляющим готовый продукт, а также методы и способы управления инновационным процессом.

Эффективность оценки напрямую зависит от методов и глубокой степени проработанности вопросов совершенствования оценки инновационного потенциала, именно достоверность показателей увеличивает привлекательность предложенного метода оценки.

<sup>1</sup> Автор статьи использует методику комплексной оценки и прогнозирования ситуации в малом бизнесе Москвы//www.giac.ru

<sup>2</sup> Кравченко С.И., Кладченко И.С. Исследование сущности инновационного потенциала // Научные труды Донецкого национального технического университета. Сер. Экономическая. Вып. 68. Донецк, 2003. С. 88-96.

Таблица 2

Комплексная система показателей внутренних условий развития малых предприятий

Названия групп	Прибыль	Доходы	Активы	Собственность	Обязательства	Расходы	Налоги	Продукция
<b>Цель</b>	Чистая прибыль	Проценты к получению	Нематериальные активы	Собственный капитал	Заемный капитал	Проценты к уплате	Текущий налог на прибыль	Расходы будущих периодов
<b>Качество</b>	Прибыль от финансовой деятельности	Прочие операционные доходы	Долгосрочные финансовые вложения	ВДС	Займы и кредиты долгосрочные	Прочие операционные расходы	НДС	Готовая продукция и товары для перепродажи
<b>Свойства</b>	Нет показателя	Денежные средства	Баланс актива	ФОТ	Задолженность перед учред. по выплате дивидендов	Нет показателя	ЕШН	Животные на выращивании и откорме
<b>Множество</b>	Прибыль от продаж	Выручка	Прочие активы (оборотные)	Резервный капитал	Прочие краткосрочные обязательства	Себестоимость	НДФЛ	Прочие запасы и затраты
<b>Размер</b>	Валовая прибыль	Доходные вложения в материальные ценности	Дебиторская задолженность	Незавершенное строительство	Кредиторская задолженность	Управленческие расходы	Налоги на ресурсы (нет информации)	Сырье
<b>Мощность</b>	Сальдо прочих внереал. операций	Внереал. доходы	Краткосрочные финансовые вложения	Добавочный капитал	Займы и кредиты краткосрочные	Внереал. расходы	НДС по приобретенным ценностям	Затраты в незавершенном производстве
<b>Схема</b>	Прибыль до налогообложения	Доходы от участия в других организациях	Основные средства	Уставный капитал	Инвестиции в основные средства	Коммерческие расходы	Сумма амортиз. отчислений	Товары отгруженные
<b>Структура</b>	Нераспределенная прибыль	Резервы предстоящих расходов	Прочие активы (внеоборотные)	Сумма налогов	Прочие долгосрочные обязательства	Расходы будущих периодов	НИ	Акцизы и др. (нет информации)

В методике используется комплексная система показателей внешних условий развития малого бизнеса Волгограда, принцип построения которой аналогичен формированию системы показателей внутренних условий.

## Комплексная система показателей внешних условий развития малых предприятий

Названия групп	Объем внешней торговли РФ, млн. долл.	Денежная масса, млрд. руб.	Ввоз/Вывоз капитала частного сектора, млрд. долл.	Цены, %	Внешний долг РФ, млрд.долл.	Доходы населения, руб./мес.	Инвестиции, млн. долл.	ВВП РФ, млрд. руб.
<b>Цель</b>	Экспорт товаров всего	Денежная масса	Чистый ввоз капитала банками	Межбанковская ставка	Государственный внутренний долг, выраженный в ценных бумагах, на 1 января	Среднедушевой денежный расход населения Москвы	Прямые иностранные инвестиции	ВВП Москвы
<b>Качество</b>	Сальдо со странами дальнего зарубежья	Валютные резервы	Иностранные активы в числе общего чистого вывоза капитала частным сектором	ИПЦ Москвы, декабрь к декабрю	Банки (без участия в капитале)	Средний размер назначенных пенсий	Инвестиции в РФ, поступившие от инвесторов Кипра	Инвестиции в основной капитал по г. Москве
<b>Свойства</b>	Экспорт со странами дальнего зарубежья	Наличные средства	Иностранные активы в числе чистого вывоза капитала банками	ИПЦ на продовольственные товары, декабрь к декабрю	Внешний долг бывшего СССР	Номинальный денежный доход по РФ на май	Портфельные иностранные инвестиции	ВВП МП Москвы
<b>Множество</b>	Экспорт со странами СНГ	Требования к нефинансовым частным организациям и населению	Иностранные активы в числе чистого вывоза капитала прочими секторами	Депозитная ставка	Внешний долг органов государственного управления	Среднемесячная номинальная начисленная з/п, по РФ	Иностранные инвестиции, поступившие в ЦФО	Инвестиций в основной капитал МП Москвы
<b>Размер</b>	Импорт товаров всего	Денежная база в широком понимании	Чистый ввоз капитала прочими секторами	Ставка рефинансирования ЦБ РФ	Внешний долг всего	Среднедушевой денежный расход населения РФ	Инвестиции от иностранных инвесторов, всего	Объем ВВП РФ
<b>Функции</b>	Сальдо со странами СНГ	Резервные активы ЦБ	Иностранные пассивы в числе общего чистого ввоза капитала частным сектором	ИПЦ, декабрь к декабрю	Прочие секторы (без участия в капитале)	Величина прожиточного минимума	Инвестиции в РФ, поступившие от инвесторов других стран	Инвестиции в основной капитал по РФ
<b>Схема</b>	Импорт со странами дальнего зарубежья	Безналичные средства	Иностранные пассивы в числе чистого ввоза капитала банками	ИПЦ на непродовольственные товары, декабрь к декабрю	Новый российский долг	Среднедушевой денежный доход в Москве, в октябре	Прочие иностранные инвестиции	ВВП МП РФ
<b>Структура</b>	Импорт со странами СНГ	Чистые кредиты органам государственного управления	Иностранные пассивы в числе чистого ввоза капитала прочими секторами	Ставка по кредитам	Ценные бумаги в иностранной валюте	Среднемесячная номинальная начисленная з/п, по Москве	Иностранные инвестиции, поступившие в остальные ФО	Инвестиции в основной капитал МП РФ

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кравченко С.И. Исследование сущности инновационного потенциала / С.И. Кравченко, И.С. Кладченко // Научные труды Донецкого национального технического университета. Сер.: экономическая. Вып. 68. Донецк: ДонНТУ, 2003. С. 88-96.
2. Николаев А.И. Инновационное развитие и инновационная культура / А.И. Николаев // Наука и наукознание. 2001. № 2. С. 54-65.
3. www.giac.ru

**Кузьмина Ольга Евгеньевна** –  
соискатель кафедры «Экономика  
и управление проектами в строительстве»  
Волгоградского государственного  
архитектурно-строительного  
университета

**Olga E. Kuzmina** –  
Ph.D. Candidate  
Department of Economics and Project Management  
in Civil Engineering  
Volgograd State University of Architecture  
and Civil Engineering

*Статья поступила в редакцию 17.08.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 316.477:338.2

**О.К. Минева**

### МЕНЕДЖМЕНТ ДЕЛОВОЙ КАРЬЕРЫ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

*Приведены изменения взглядов современных работодателей и работников на процесс построения карьеры. Раскрыта существующая тенденция роста горизонтальной карьеры в современной плоской организации, опирающаяся на саморазвитие работника и отход от узкоспециализированной карьеры.*

Плоская организация, горизонтальная карьера, поливариативная карьера, компетенция, саморазвитие

**O.K. Mineva**

### MANAGING THE BUSINESS CAREER IN THE MODERN WORLD

*The article describes the changes in the views of modern employers and workers in the process of building a career. The current growth trend of the horizontal career in the modern flat organization based on self-development of employees and departure from highly specialized career have been revealed.*

Flat organization, horizontal career, flexible career, competence, self-development

*К высокому положению ведут два пути:  
протоптанная прямая дорога  
и окольная тропа в обход, которая гораздо короче.*

Ж. Лабрюйер

Термин «карьер» происходит от латинского «carrus», что означает «телега, повозка» и итальянского «carriga» – «бег, жизненный путь, поприще». Именно так на протяжении столетий люди и представляли себе, что лучше быть «в телеге», чем ее тащить. Очень точно охарактеризовал суть процесса построения карьеры французский писатель XVIII века Н. Шамфор: «Хотите знать, как делают карьеру? Поглядите на то, что творится в партере театра при большом скоплении публики: одни все время остаются на месте, других отесняют назад, третьи проталкиваются вперед. Это сравнение настолько верно, что выражение, передающее его суть, вошло в язык народа: простолудин говорит не «сделать карьеру», а «пробиться в люди»; человек светский употребляет иные слова – «продвинуть»

ся», «выдвинуться», «занять подобающее место», но хотя эти смягченные обороты освобождены от побочных представлений о насилии, неистовстве, грубости, суть дела отнюдь не меняется» [1].

Современный деловой мир – это мир высоких скоростей, трансформирующихся правил и подходов, изменяющихся требований к наемному работнику. Все это требует от современного работника воспитания в себе инновационной восприимчивости к переменам бизнес-среды. Начиная с 1990-х годов, международная интеграция бизнеса, требующая снижения непроизводительных издержек, начала «выдавливать» пирамидальную структуру управления из традиционной бюрократической модели организации. Последние десятилетия существенно «выровняли» организационные структуры, заменив многоуровневые на двух- и одноуровневые, которые впоследствии стали называться плоскими, моментально сделав ненужными большое количество должностей «офисного планктона». Это существенно разделило статус «первого» и «второго» уровня, спровоцировав рост конкуренции за перспективные рабочие места. Плоские управленческие структуры производят высокую добавленную стоимость на основе управления знаниями, работы со знаниями. Типичный пример такой организации – Microsoft.

Сама по себе модель успешной карьеры изменилась до неузнаваемости, изменив требования к разработке стратегии личного и корпоративного профессионального развития. Современные ученые под влиянием существующих реалий плавно изменяют свой взгляд на дефиницию «деловая карьера». Так, А.Я. Кибанов под карьерой понимает «поступательное движение личности, изменение навыков, способностей, квалификационных возможностей и размеров вознаграждений, связанных с деятельностью» [2], Т.Ю. Базаров пишет, что «карьера – это результат осознанной позиции и поведения человека в области трудовой деятельности, связанный с должностным или профессиональным ростом» [3], авторский коллектив под руководством Ю.Г. Одегова, П.В. Журавлева считает, что «карьера – фактическая последовательность занимаемых ступеней (должностей, рабочих мест, положений в коллективе)» [4].

Зарубежные ученые разработали целый ряд концепций, посвященных изменению стилей построения карьеры, базирующиеся на основополагающем взаимодействии обучения и работы. Карьерный рост больше не предполагает позитивности «вертикальных» перемещений – развитием признается и «горизонтальный» рост. Горизонтальная карьера рассматривается сегодня как подъем по ступеням мастерства.

Например, концепция Д. Сонненфельда и М. Армстронга представляет карьеру как двумерную систему потока «предложений» и «назначений». Менеджмент карьеры может быть реализован тремя способами: 1. Краткосрочная стратегия «здесь и сейчас», при которой работодатели изначально нанимают и обучают специалистов высокого уровня для решения текущих проблем, при этом целенаправленное обучение работников с прицелом на будущее считается «потерей времени и денег». 2. Долгосрочная стратегия «высокого полета» выделяет работодателей, которые разрабатывают высокоструктурированные подходы к управлению карьерой работников, стремящихся закрепить их в компании надолго. 3. Долгосрочная гибкость предполагает, что надо выделить перспективных работников для решения задач типа «здесь и сейчас», но потенциал работников следует оценивать и развивать с помощью обучения, которое не является специфичным для данной работы, и обдуманного расширения опыта через ротацию [5]. В рамках работ данных авторов система развития карьеры рассматривается в диапазоне компетенций. Первый уровень предполагает базовое обучение и опыт, которому соответствует базовый диапазон компетенций; на втором уровне формируется последующий уровень, реализуемый через последующее обучение и опыт; на продвинутом уровне осуществляется продвинутое обучение и наращивание опыта. Вместе с ростом компетенций растет и ответственность. Количество уровней изменяется в соответствии с рядом компетенций, требуемых в конкретном семействе работ. Плоские организационные структуры подразумевают карьерный рост через добровольное возложение на себя дополнительных обязанностей, самообразование, развитие опыта и компетенций, а следовательно, повышение профессиональной востребованности.

Концепция поливариативной карьеры, разработанная Д. Холлом и Ф. Мирвисом, имеет существенное прикладное значение. Они настаивают, что в новых условиях тезис «преданность означает вклад» должен быть заменен на «преданность означает настойчивость» [6]. В их работе представлены слова председателя совета директоров одной из успешных компаний VdBN Unilever Т. Гюнненга: «Если Вы не ставите высоких целей, Вы не сможете достучаться до людей. Вы просто будете ими управлять. Если Вы усложните работу вдвое, то мобилизуете компанию. Людям придется стать другими». Авторы предлагают новый психологический контракт на карьеру – пункты взаимных ожиданий работника и работодателя друг от друга, носящие зачастую невыраженный характер, то есть явно не декларируемые, но подразумеваемые. По словам работников: «Это совсем не та компания, что была 5 лет назад. Я стал ближе к руководству. Я хочу работать быстрее и лучше. Людям стали доверять

и они стали выступать с инициативой. Люди стали смелее». Работник в новой карьерной парадигме – это часть «пирамиды роста». На рисунке представлена «пирамида роста».



Пирамида роста по Д. Холлу и Ф. Мирвису

В основе пирамиды роста лежат тяжелый труд и развитие работников. Пирамида роста – это основа всего. Личностный рост ведет к росту бизнеса, а рост бизнеса ведет к росту личности. В рамках данной концепции карьера – это развитие людей на благо компании. Карьерный путь может включать и пики, и спады, и временный возврат на предыдущий уровень, и смену одного вида деятельности другим. Карьера каждого человека, по мнению Д. Холла и Ф. Мирвиса, так же уникальна и неповторима, как и отпечатки его пальцев. Способность «сделать» поливариативную карьеру больше у тех работников, которые способны оперативно переобучаться в ответ на изменение окружающей бизнес-среды.

По данным бельгийского специалиста, исследователя современных проблем менеджмента Дж.М. Хилтропа, для низового звена исполнителей в настоящее время нормой является 3-4 цикла переподготовки за период экономической активности, а современному типичному 25-летнему менеджеру за свою будущую в среднем 40-летнюю карьеру придется не менее 8 раз проходить курс переобучения и переподготовки.

Исследование карьерного роста в плоских организациях, проведенное Л. Холбече, установило, что 95% сотрудников не имеют четкого понимания требований для движения «наверх» и поэтому готовы самостоятельно осуществлять личный менеджмент карьеры [6]. Это означает, что психологический контракт, предполагающий продвижение и длительную занятость, трансформируется в контракт, при котором работники сами ответственны за управление собственной карьерой, они должны повысить свою профессиональную востребованность, а организация должна поддержать их в стремлении стать универсальными специалистами. В рамках нового психологического контракта организации должны ввести диапазоны карьеры, в которых четко определяются возможности горизонтального роста.

Надо заметить, что и западный, и японский менеджмент карьеры сближаются сегодня как никогда. Уникальность японского менеджмента карьеры состоит в том, что по принципам, применяемым на Западе к ценным сотрудникам, в Японии оплачиваются и рядовые сотрудники, тем самым «пресекая» их желания вертикального роста. Повышение компетенции последних привели в Японии к размыванию социальной границы между ними, статусного ранжирования персонала, привычных для других стран признаков социальных отличий, это закрепляет работников в организации. Большая часть японских фирм, как свидетельствуют исследования, до сих пор практикует замедленное продвижение персонала на управленческие посты. Обычно назначение работников на первую управленческую должность происходит примерно спустя 15 лет после поступления в фирму. Продвижение вперед по горизонтали не обязательно сопровождается последующим продвижением вверх. Горизонтальные ранги представляют собой разряды, которые призваны отражать различное положение индивидуумов с точки зрения уровня их квалификации и трудовой отдачи, не подразумевает никаких существенных изменений ни во властных полномочиях, ни в ответственности, ни даже в характере выполняемых работ. Продвижению по вертикальной лестнице обязательно предшествует достижение

определенного разряда в горизонтальной системе рангов. Иначе говоря, продвижение вверх невозможно без продвижения вперед. Движение вперед зависит от оценки трудовой отдачи и уровня квалификации. Горизонтальное продвижение превратилось в японской фирме в систему непрерывного самосовершенствования, которое воспроизводит на новом уровне мотивацию персонала и направляет ее на развитие организации и достижение работником удовлетворенности своим трудом. В США и ряде стран Запада ценится высокая профессиональная мобильность, которая обеспечивается сравнительно короткими карьерными циклами на каждом месте работы, что считается доказательством высокой востребованности специалиста и, следовательно, более высокого заработка. В Китае под менеджмент карьер и сегодня подведена база конфуцианства, предполагающая одобрение только достижения такого личного блага, которое не противоречит благу общественному. Вертикальный подъем гарантирует прирост социального статуса и преклонения со стороны подчиненных. Однако идеология конфуцианства не позволяет задумываться о личном продвижении, если оно вредит интересам компании. Продвижение возможно только с одобрения вышестоящего начальства и коллектива. В Индии также велико влияние религии, согласно которой в личной судьбе все предрешено, но это не касается необходимости осуществлять свой профессиональный долг, вознаграждение за который будет получено в будущей жизни. Карьера для индуса – это общественное уважение, почет и одобрение. Индусы почитают действие закона справедливости Дхармы – если кто-то сделал карьеру сейчас, то я сделаю ее в будущей жизни, поэтому в этой профессиональной жизни я должен не нарушить чистоты кармы.

В России интересными стали результаты исследования, проведенные кадровой компанией «Агентство Контакт», согласно которому из 40% выпускников вузов, занятых в бизнесе, через десять лет после окончания учёбы экспертами становятся лишь 3,8%, исполнителями – 78%, стажёрами продолжают оставаться 1,2%. Выпускники не учитывают основное требование бизнеса к специалисту – умение работать в команде. Его поставили на первое место 40% компаний-работодателей, остальные пожелания к соискателям распределяются так: навыки – 30%, креативность – 20%, а на теоретические знания приходится всего лишь 10% [7]. Не следует забывать и о гендерном факторе при менеджменте карьер. Согласно исследованию, проведенному общественной организацией «Комитет 20», 45 % респондентов считают, что карьера женщины в бизнесе не совместима с полноценной семейной жизнью, 36 % считает, что женщина-карьеристка теряет привлекательность, 31 % опрошенных воспринимают женщину-руководителя скорее как исключение, чем правило. Основными мотивами построения карьеры были названы: стремление к свободе и независимости в профессиональном плане (91%). Одним из основных внешних барьеров для построения карьеры женщиной названо предвзятое отношение к ним со стороны руководителей, которое чаще встречается в российских, чем в иностранных компаниях (24% против 5%). По данным многих исследований, проведенных в мире на эту тему, компании, в составе советов директоров которых присутствует не менее трех женщин, имеют гораздо более высокие показатели эффективности по всем направлениям. Причем заметим, что Россия занимает здесь далеко не последнее место, опережая многие развитые страны, такие как Австрия, Нидерланды или Япония [8].

Существенно повлиял на менеджмент карьер в России и мировой экономический кризис. В таблице приведено обобщение результатов исследования С. Катаевой, эксперта Brainity.ru, о трансформации карьеры российского менеджера, произошедшей в 2007-2010 годах [9].

Трансформация карьеры российского менеджера в 2007-2010 гг.

Год	Суть профессионального сознания	Специфика проявления
2007	Портфельный менеджер	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Карьера – работа на собственное «портфолио»</li> <li>2. Быстрый переход с одного места работы на другое</li> <li>3. Преобладание личных амбиций над амбициозными целями компании</li> <li>4. Закрытость от коллектива</li> </ol>
2008	Исчезающий менеджер	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Развитие фрилансерства, дауншифтерства</li> <li>2. Работа по интересам в ущерб зарплаткам</li> </ol>
2009	Уставший менеджер	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Апатия, неуверенность в будущей работе</li> <li>2. Трудовая пассивность</li> <li>3. Страх потерять работу</li> <li>4. Выжидание изменений на рынке</li> </ol>
2010	Демократический менеджер	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Умеющие работать в команде</li> <li>2. Умеющие рисковать</li> <li>3. Четко разделяющие работу и личную жизнь</li> </ol>

Очень созвучно с результатами исследования С. Катаевой выглядит позиция Т.Б. Базарова, который утверждает, что узкие специалисты обречены – сегодня время транспрофессионалов, которые, испытывая постоянную потребность в новых знаниях, формируют систему трёх «В»: воображение, внимание и волю. Подобные специалисты стоят как бы «над системой», что позволяет им быть более востребованными на рынке труда.

Изменились и подходы российских работодателей к менеджменту карьер. Так, согласно исследованию аналитического центра Национального Союза Кадровиков, в современных условиях на первых двух местах по популярности по способам управления горизонтальной карьерой вышли не прирост материальных благ (16,5%), а обеспечение работой, представляющей интерес (20,3%) и предоставление возможности совершенствования навыков (19%) [10], что подтверждает изложенные выше научные разработки.

Обобщая вышеизложенное, можно прийти к следующим выводам:

1. Современный этап развития мировой экономики актуализировал плоские организации, ориентированные на горизонтальное построение карьеры сотрудниками.
2. Международный опыт подтверждает, что компаниям сегодня требуются транспрофессионалы – сотрудники, восприимчивые к инновациям, которые непрерывно повышают свои компетенции.
3. Актуализируются психологические контракты между работодателями и работниками, в которых ответственность за менеджмент карьеры возлагается на сотрудника.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шамфор Н. Максимумы и мысли / Н. Шамфор. Режим доступа: <http://bookz.ru/authors/6amfor/macsimas/1-macsimas.html>, свободный. Заглавие с экрана. Яз. рус.
2. Управление персоналом: энциклопедия / под ред. проф. А.Я. Кибанова. М.: ИНФРА-М, 2009. 268 с.
3. Управление персоналом. Планирование карьеры / под ред. проф. Т.Ю. Базарова, Б.Л. Еремина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ, 2002. 560 с.
4. Одегов Ю.Г. Управление персоналом / Ю.Г. Одегов, П.В. Журавлев. М.: Финстатинформ, 1997. 412 с.
5. Армстронг М. Практика управления человеческими ресурсами. 8-е изд. / М. Армстронг; пер. с англ. под ред. С.К. Мордовина. СПб.: Питер, 2005. 832 с.
6. Ф. Мирвс. В пустыню и обратно: величайший корпоративный тренинг в истории бизнеса / Ф. Мирвс, К. Аяс, Д. Рот. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. 267 с.
7. Головлева К. Карьера в XXI веке: новая стратегия успеха / К. Головлева. Режим доступа: <http://www.careerist.ru/article976>, свободный. Заглавие с экрана. Яз. рус.
8. Особенности карьерного роста мужчин и женщин в России. Режим доступа: <http://www.ipnou.ru/article.php?idarticle=008761>, свободный. Заглавие с экрана. Яз. рус.
9. Катаева С. Трансформация менеджеров. Карьерные сдвиги 2007-2010 гг. / С. Катаева. Режим доступа: <http://www.brainity.ru/business/career/3080/>, свободный. Заглавие с экрана. Яз. рус.
10. Половинкина К. Менеджмент высшей пробы / К. Половинкина // Справочник по управлению персоналом. 2008. №8. С. 15-21.

**Минева Оксана Карловна** –  
доктор экономических наук, профессор  
декан факультета бизнеса и экономики  
Астраханский государственный университет

**Oxana K. Mineva** -  
Dr. Sc., Professor  
Astrakhan State University

*Статья поступила в редакцию 16.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 378.2

**О.К. Минева, О.П. Ходенкова**

### **КОМПЕТЕНТНОСТНЫЙ ПОДХОД В СИСТЕМЕ ПОСЛЕВУЗОВСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В ПАРАДИГМЕ С.Д.И.О.**

*Представлена попытка адаптации принципов, целей, стандартов С.Д.И.О.  
в систему послевузовского образования профессорско-преподавательского состава*



ва, одной из главных целей которой выступает формирование предпринимательских компетенций у педагогов.

Инициатива C.D.I.O., компетентностный подход, послевузовское образование, профессорско-преподавательский состав, предпринимательство

**О.К. Mineva, О.Р. Khodenkova**

### **COMPETENCE-BASED APPROACH IN THE SYSTEM OF POSTGRADUATE EDUCATION WITHIN THE C.D.I.O. PARADIGM**

*An attempt is made to adapt the principles, objectives, and C.D.I.O. standards in the system of postgraduate education, where one of the main purposes is formation of entrepreneurial competences with teachers.*

CDIO initiative, competence-based approach, postgraduate education, teachers of the higher school, entrepreneurship

Высокая скорость инновационных изменений и смена парадигм стали реальностью современного делового мира, которые предъявляют принципиально новые требования к выпускнику вуза, прежде всего воспитания в нем, уже начиная со студенческой скамьи, инновационной восприимчивости к переменам бизнес-среды. Ответом на изменение требований к выпускнику вуза стал запуск в октябре 2002 года крупного международного проекта по реформированию инженерного образования, получивший название «Всемирная инициатива C.D.I.O.» [1], членами которого стали вузы США, Канады, Европы, Великобритании, России и многих других. Главной целью проекта называется осуществление учебного процесса в контексте жизненного цикла реальных систем, процессов и продуктов «Задумай – Спроектируй – Реализуй – Управляй». Изначально в рамках C.D.I.O. рассматривалось только инженерное образование, но сегодня основные принципы инициативы распространяются и на гуманитарное образование. Инициатива C.D.I.O. – ответ на необходимость воспитания инициативности, инновационной и предпринимательской активности.

Согласно исследованиям коллектива авторов под руководством Чепуренко А.Ю. и Верховской О.Р. в рамках проекта GEM, 92,2% населения России не воспринимают предпринимательство как вариант развития карьеры. Основными негативными факторами около 50% респондентов назвали «предпочтение общего стандарта жизни» и около 75% – отсутствие необходимых знаний и опыта. Вместе с тем индекс общей предпринимательской активности (ТЕА) в России за последние 5 лет имеет тенденцию к увеличению, хотя если сравнивать со средним значением индекса в странах с эффективно-ориентированной экономикой, к которой относится наша страна, то он практически в 3 раза ниже (4,6% против 14,1%) [2].

Динамика предпринимательской активности в России в 2006-2011 г., %

Год					
2006	2007	2008	2009	2010	2011
4,9	2,7	3,5	3,9	3,94	4,6

Осознанием глубины проблемы предпринимательской пассивности подавляющего большинства наших выпускников стало вхождение России в Инициативу C.D.I.O., применение принципов в обучении которой должно помочь достичь трех главных целей – обучение студентов, умеющих демонстрировать глубокие знания профессии, умеющих создавать новые продукты и понимающих важность стратегического значения развития. Инициатива C.D.I.O. представлена философией, содержащей двенадцать стандартов, каждый из которых возможен только при условии высокой компетенции профессорско-преподавательского состава вуза (далее ППС). Современные требования к уровню компетенции ППС выражаются в процессе перехода от идеи обновления знаний, необходимых для деятельности в определенных стандартных условиях, к идее профессиональной деятельности преподавателей, так называемого компетентностного подхода, количественной оценке «образовательных скачков», а также мотивационной направленности получения послевузовского образования (аспирантура, докторантура, стажировка, повышение квалификации и т.п.). Под «образовательными скачка-

ми» авторами понимается прирост количества и качества профессиональных компетенций обучившегося в системе послевузовского образования, заключающийся в способности индивида к максимальному применению их в профессиональной деятельности [3].

В настоящее время существуют диаметрально противоположные взгляды на эффективность компетентностного подхода в российском образовании. Так, В.С. Сенашенко утверждает [4], что в настоящее время «компетентностный подход претендует на роль концептуальной основы образовательной политики», в то же время О.В. Машникова [5] высказывает опасение упрощения обучения и снижения качества подготовки вследствие изучения не конкретной профессии, а «натаскивания» на нужные компетенции при отсутствии набора необходимых профессиональных знаний. По мнению авторов данной статьи, компетентностный подход подразумевает нацеленность на успех отдельно взятого члена общества, и, как образно выразился В.Н. Фомин, «все сильнее ощущается необходимость смены парадигмы «багажа знаний» на парадигму «помощи при поиске своего места в жизни» [6].

В рамках данной статьи авторы предприняли попытку адаптации компетентностного подхода к стандартам С.Д.І.О., сделав основной упор на непрерывном обучении ППС в системе послевузовского образования.

На рис. 1 представлена модель взаимодействия стандартов С.Д.І.О. и компетентностного подхода в системе послевузовского образования ППС.

Двенадцать стандартов С.Д.І.О. прописывают общую философию Инициативы, важность новых методов преподавания и обучения, что актуализирует необходимость развития ППС. Семь из двенадцати стандартов являются обязательными, поскольку они отличают программы С.Д.І.О. от других образовательных программ, в пяти сосредоточен опыт лучшего практического опыта в инженерном образовании.

Опираясь на разработанные для инженерного образования стандарты С.Д.І.О., авторы попытались переложить их на систему послевузовского образования ППС в рамках компетентностного подхода. На рис. 2 представлены стандарты С.Д.І.О. для послевузовской системы образования.

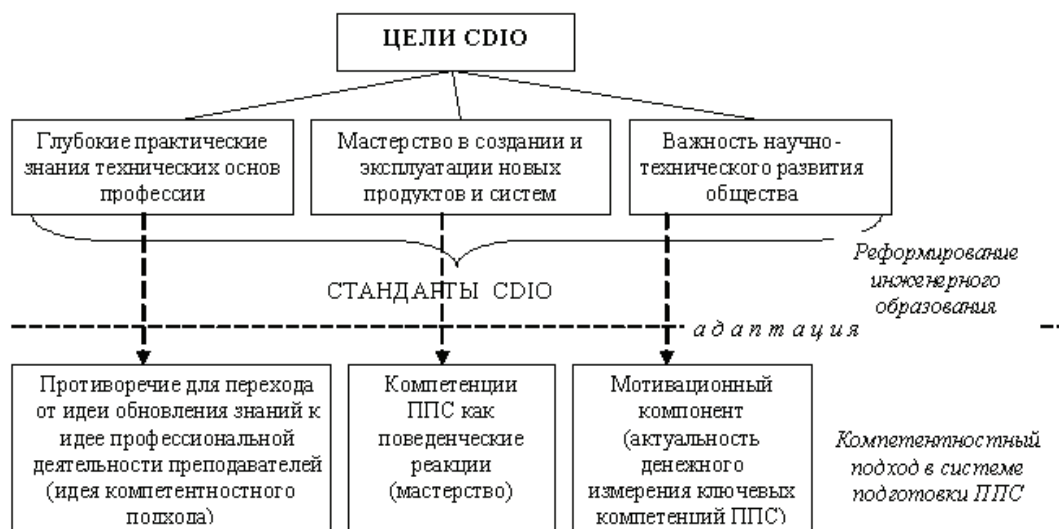


Рис. 1. Компетентностный подход как инструмент Инициативы СДИО (разработано авторами)

Инициатива СДИО оказывает поддержку ППС в повышении их компетентности в проведении интегрированных учебных занятий (стандарт 7), в применении методов активного обучения (стандарт 8), а также в осуществлении оценки успеваемости студентов (стандарт 11). Если ППС должен осуществлять образовательный процесс (в том числе оценивания) обучающихся по-новому, так, как прописано в стандартах 7, 8 и 11, им следует предоставить возможность развивать и улучшать свои собственные профессиональные и, самое главное, предпринимательские навыки. На наш взгляд, это невозможно, если не пересмотреть пересматривать обучение в аспирантуре и докторантуре. Российской высшей школе сегодня нужен ученый, способный найти свою предпринимательскую «нишу» на рынке и стать активным провайдером в мир предпринимательства для своих учеников. В рамках 10-го стандарта степень компетентности преподавателей в этой области должна учитываться как при приёме преподавателей на работу, так и при регулярной оценке их деятельности, кадровой ротации [7, 8].

Принимая во внимание все стандарты Инициативы C.D.I.O. можно предположить, что возможность соотнесения их с послевузовским образованием требует глубокого осмысления, но без подобной интеграции невозможно комплексно подойти к реформе отечественного высшего образования, главной задачей которой выступает подготовка высококвалифицированного и предпринимательски активного специалиста.

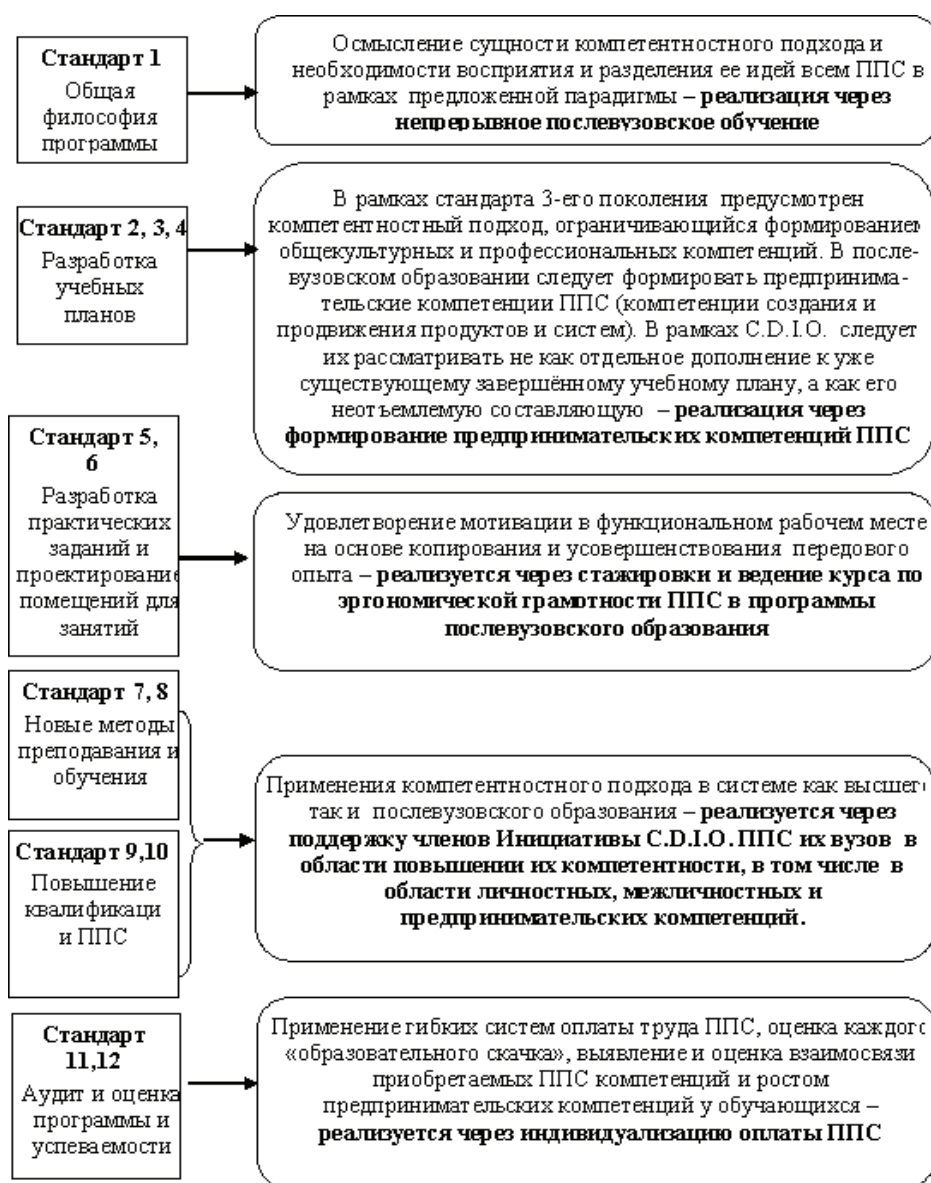


Рис. 2. Компетентностный подход в послевузовском образовании в рамках стандартов CDIO

Таким образом, Инициатива C.D.I.O. актуализирует более глубокое проникновение в отечественные вузы компетентностного подхода в образовании, которое неосуществимо без распространения стандартов на послевузовское образование.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. CDIO – Conceive – Design – Implement – Operate. Дополнительные сведения об Инициативе CDIO. [Электронный ресурс]. 2012. Режим доступа: <http://www.cdio.org>.
2. Национальный отчет. Глобальный мониторинг предпринимательства. Россия 2011 / под ред. Верховской О.Р., Дорониной М.В.; Высшая школа менеджмента Санкт-Петербургского государственного университета. СПб., 2011. 63 с.

3. Ходенкова О.П. Модель ключевых компетенций преподавателя вуза, формируемая под влиянием послевузовского образования / О.П. Ходенкова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Экономика. 2011. № 2. С. 169-173

4. Сенашенко В.С. Размышления о компетентностном подходе в высшем образовании / В.С. Сенашенко // Компетентностный подход в высшем экономическом образовании: сб. науч. ст. М.: Финакадемия, 2009. С. 20-25.

5. Машникова О.В. Создание компетентности и оценка компетенций / О.В. Машникова // Компетентностный подход в высшем экономическом образовании: сб. науч. ст. М.: Финакадемия, 2009. С. 47-51.

6. Фомин В.Н. К трехаспектной модели образовательного процесса / В.Н. Фомин // Высшее образование в России. 2009. №12. С. 127-131.

7. Минева О.К. Переход к кредитному нормированию труда преподавателя в условиях модернизации российской высшей школы / О.К. Минева // Человек и труд. 2007. №1. С. 83-84.

8. Минева О.К. Новая система оплаты труда в высших учебных заведениях / О.К. Минева, Н.Н. Кочеткова // Кадровик. 2010. №3. С. 76-78.

**Минева Оксана Карловна** –  
доктор экономических наук, профессор,  
декан факультета бизнеса и экономики  
Астраханского государственного университета

**Oxana K. Mineva** –  
Dr.Sc., Professor  
Dean: Faculty of Business and Economics  
Asrakhn State University

**Ходенкова Ольга Павловна** –  
старший преподаватель кафедры «Менеджмент»  
Астраханского государственного университета

**Olga P. Khodenkova** –  
Senior Lecturer  
Department of Management  
Astrakhan State University

*Статья поступила в редакцию 15.09.12, принята к опубликованию 06.11.12*

УДК 331.104

**О.В. Мраморнова**

### **ПРОТИВОРЕЧИЯ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ТРУДОВЫХ ОТНОШЕНИЙ В ЭПОХУ ГЛОБАЛИЗАЦИИ**

*Раскрыто противоречивое влияние процесса глобализации на социально-трудовые отношения. Показано, что глобализация, оказывая неоднозначное воздействие на сферу труда, приводит как к позитивным изменениям, так и к возникновению новых противоречий. Проанализированы противоречия социально-трудовых отношений, возникшие в последние годы под влиянием глобализации мировой экономики.*

Противоречие, глобализация, социально-трудовые отношения, информационно-коммуникационные технологии

**O.V. Mramornova**

### **CONTRADICTIONS OF LABOR RELATIONS DEVELOPMENT IN THE ERA OF GLOBALIZATION**

*Contradictory influence of globalization on labor relations is revealed. It is shown that globalization, providing a mixed impact on the labor world, leads both to positive changes and gives rise to new contradictions. The contradictions of labor relations arising in the recent years under the influence of the globalization of the world economy are analyzed.*

Contradiction, globalization, labour relations, information technologies

Современный этап развития человеческой цивилизации характеризуется беспрецедентно высокими темпами научно-технического прогресса. Однако быстрые темпы научно-технологической революции, предъявляющие высокие требования к качеству рабочей силы и кардинальным образом изменяющие структуру занятости, имеют не только позитивные, но и определенные негативные последствия. В частности, происходит сокращение спроса на неквалифицированную рабочую силу и увеличение безработицы в этом сегменте рынка труда. Такая тенденция характерна в настоящее время для большинства экономически развитых стран. С учетом тех, кто находится вне сферы занятости, уровень незанятости среди менее образованной части рабочей силы в США и Великобритании превысил 30% [1]. По мнению западных исследователей, такой перекокс в спросе на рабочую силу, который обнаружился в последние 10-15 лет, по всей видимости, в ближайшие годы станет более заметным.

Далеко не однозначное влияние на систему социально-трудовых отношений оказывают процессы глобализации экономики. Социальные последствия глобализации зачастую приходят в противоречие с ее экономическими результатами. Некоторые западные исследователи рассматривают глобализацию как своеобразный возврат к рыночной конкуренции, которую капитализм уже один раз в своей истории внедрил в каждой отдельно взятой стране. «Возможно, мы находимся в ситуации европейского национального капитализма XIX в., – пишет С. Хофман, президент Центра европейских исследований при Гарвардском университете, – до того, как государства начали его регулировать и говорить, что даже озабоченный прибылями капиталист должен время от времени заниматься своими рабочими, обеспечивать им известный уровень заработной платы. Ничего подобного в глобальном измерении пока нет» [1]. В результате развития процессов глобализации и повышения эффективности производства при недостаточном внимании к социальным результатам происходит ослабление созданной в отдельных странах – над рынком – социальной и административной надстройки, в том числе регулирующей рынок труда и трудовые отношения. Таким образом, происходит лишение трудящихся защиты от потрясений, которые несет с собой открытая экономика (возврат конкуренции на рынок труда, сокращение заработной платы рабочих и т.д.), что может подорвать социальные основы процветания и привести к дестабилизации общественной жизни, включая и трудовые отношения [1]. Таким образом, здесь возникает противоречие между необходимостью для всех стран включения в объективный процесс глобализации, интернационализации мировой экономики и ухудшением социального положения многих категорий трудящихся в ходе этого процесса, сокращением социальных гарантий.

О.С. Сухарев отмечает существующую опасность конфликта старых международных институтов и новых реальностей глобализации, ее антисоциальной и антигуманистической направленности, глобализации как «киллера национальных культур», а следовательно, и сложившихся хозяйственных отношений. Он также отмечает, что эта опасность автоматически переносится на национальную почву, как только страна вступает в ВТО, соглашаясь с действующей и общепризнанной системой правил и моделей поведения на международном поле экономических связей [2].

Таким образом, возникает противоречие между процессами глобализации мирового экономического пространства и подавлением национальной самобытности стран.

Развитие и внедрение в производство информационно-коммуникационных технологий оказало значительное воздействие на распространение нетрадиционных форм занятости – это частично занятые, временные работники, лица, работающие по срочным контрактам, выполняющие субподрядные работы, надомники и др. Происходят изменения в соотношении различных видов занятости, осуществляется переход от работы в организации к работе на дому, от работы на одного работодателя – к работе по совместительству на нескольких работодателей и т.д. [3]. Значительно большее, чем раньше, влияние на рынок труда стали оказывать трудящиеся-мигранты. Начиная с 70-х гг. XX в., частичная и неполная занятость приобретает все большее распространение во всех экономически развитых странах [1]. Условия и оплата труда, дополнительные социальные выплаты частично занятых заметно отличаются в худшую сторону от тех, которыми пользуются постоянные работники. В условиях высокой конкуренции, когда предприниматели в целях выживания вынуждены любыми способами снижать издержки на рабочую силу, «периферийная» занятость пользуется широким спросом [1]. Этот процесс может быть квалифицирован как противоречие между возникновением новых форм занятости, обусловленных НТР, и ухудшением условий труда соответствующих категорий работников.

Глобализация и технологическая революция также оказывают значительное влияние на процессы ликвидации и создания рабочих мест. Различают прямой и косвенный эффекты влияния информационно-коммуникационных технологий на занятость. Прямой эффект включает создание новых рабочих мест для производства и доставки новых продуктов и услуг, а косвенный эффект представляет собой последствия этого в других сферах. Определить, какой в данной стране чистый баланс – положи-

тельный или отрицательный, путем простого подсчета новых и ликвидированных рабочих мест невозможно [1]. Считается, что в долгосрочном плане эффект создания рабочих мест перевешивает эффект их ликвидации, но никто не утверждает, что «компенсация» происходит автоматически, безболезненно или быстро. Новые рабочие места могут не соответствовать старым в отношении либо требуемой квалификации, либо географического расположения.

Неоднозначное влияние ИКТ и глобализации на социально-экономические процессы проявилось и в изменении роли профсоюзов в регулировании социально-трудовых отношений. Распространение частичной или неполной занятости привело к тому, что эти категории трудящихся оказались не охваченными профсоюзным движением. Это также оказало понижающее воздействие на уровень заработной платы постоянных работников и гарантии их занятости. Высокая мобильность капитала, его способность к быстрому перемещению в различные точки мира оказывает дестабилизирующее влияние на уровень зарплаты, которая прежде была выведена из конкуренции и находилась под «защитой» национальных систем трудовых отношений. По словам одного из профсоюзных руководителей, «нет сомнений – профсоюзы понесли самые большие потери в результате растущей взаимозависимости экономик национальных государств» [1]. В данном случае проявляется противоречие между активным процессом глобализации и подавлением роли профсоюзов как основного выразителя интересов трудящихся.

Весьма значительной тенденцией в развитии трудовых отношений в области оплаты труда, возникшей в последние годы, является снижение доходов низкоквалифицированного персонала и рост благосостояния выпускников университетов, занятых в сфере услуг и производстве информации. Причем эта тенденция явно просматривается, несмотря на то, что традиционные показатели производительности в третичном секторе намного ниже, чем в обрабатывающих и особенно добывающих отраслях индустрии. Так, если в 1960 г. выработка ВВП на одного занятого в третичном секторе составляла около 77,5% от выработки промышленного работника, то в 1992 г. этот показатель упал до уровня в 69,35% [4]. Таким образом, прогресс общества и его производительных сил приводит к тому, что показатели производительности труда уже не являются определяющими в установлении уровня заработной платы работников. Это свидетельствует о наличии противоречия между более высоким уровнем производительности труда и более низкой заработной платой в традиционных отраслях по сравнению со сферой услуг и информации.

О.С. Сухарев обращает внимание на такой интересный факт, что рост информационного потенциала ликвидирует имевшуюся разницу в интеллектуальном развитии индивидов. Сейчас в среднем разница в интеллекте между индивидами составляет не более 1,5-2 раза, в то время как разница в доходах достигает 10-15 раз, а при сравнении некоторых групп населения – 20, 40 и даже 100 раз. По мнению ученого, именно это несоответствие разницы в интеллектуальных способностях и доходах будет определять всю гамму социальных противоречий в XXI в. Эта тенденция полностью подрывает доктрину естественных прав, принятую в качестве базы развития либерального общества западного типа. Так, зарплата инженера в месяц в Китае (Шанхай) в 2001 г. составляла 180-540 долл., в Японии (Йокогама) – 4200-5000 долл. [2]. Развивается противоречие, тесно связанное с предыдущим, – между незначительным различием в интеллектуальных способностях работников и значительными различиями в оплате их труда.

Активное внедрение в производство информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) предполагает кардинальные изменения также в сфере организации труда и управлении производством.

Эта необходимость обусловлена, в первую очередь, тем, что количественное наращивание работ, компьютеризация производства и т.п. сами по себе не ведут к повышению производительности труда и качества продукции, а также не могут обеспечить необходимые ныне параметры эффективности производства [1]. Этот парадокс объясняется игнорированием социальных аспектов внедрения ИКТ, которые заключаются в необходимости демократизации и гуманизации организации труда и управления предприятиями, в развитии взаимодействия и сотрудничества в трудовых отношениях, создании на предприятии условий, способствующих максимально полному использованию знаний и профессиональной квалификации работника, его творческого потенциала. Американские ученые утверждают, что именно информационная технология создала во многих отношениях противоположную фордистской гибкую организацию труда, в которой «роль менеджмента смещается в сторону инвестирования в людей, наемные работники получают право голоса в принятии решений, касающихся тех вопросов, которые ранее были прерогативой руководителей» [1]. При этом интересен тот факт, что процесс расширения производственной демократии, трансформации трудовых отношений инициирован сверху: его движущей силой являются предприниматели и выражающий их волю ме-

неджмент, которые руководствуются стремлением обеспечить оптимальные условия для внедрения ИКТ и использования трудового потенциала предприятий.

Наиболее значительной из различных форм расширения производственной демократии, как представляется, является возникновение и расширение числа фирм, на которых действуют автономные производственные бригады, кружки качества – производственные коллективы, наделенные широкими производственными, управленческими, финансовыми, контрольными полномочиями. В японской промышленности действует свыше 500 тысяч ГКК, объединяющих более 5 млн. членов, а экономическая эффективность их деятельности составляет в среднем 56 тыс. долл. США на группу в год [3].

На основе групп по контролю качества (ГКК) в некоторых отраслях промышленности (электронная, сталеплавильная, электротехническая и др.) создана система «малых групп управления», которым, помимо контроля за качеством выпускаемой продукции, предоставляется право самостоятельно планировать работу и вводить небольшие усовершенствования. Такая трансформация организации труда получила название «постфордизм» или «тойотизм», поскольку активно использовалась на заводах «Тойоты». Внедрение новых методов в корпорации обеспечило более эффективное использование рабочей силы и оборудования при одновременном повышении качества и разнообразия моделей выпускаемых автомобилей. Важной составляющей прогрессивной организации труда стала реорганизация (или даже полная ликвидация) конвейера, которая проводится в разных отраслях и странах в различных формах и отличается глубиной изменений – от частичного приспособления хода конвейера к человеческим возможностям (регулирование темпа) до полной его замены участками индивидуальной и групповой сборки. При этом рабочий или бригадир снабжается запасом заготовок, чтобы не зависеть от скорости выполнения трудовых приемов остальными рабочими или их группами. Наибольшее распространение совершенствование технологии производства получило в США, Японии, Швеции и других странах. На многих предприятиях этих стран вместо конвейера были созданы автономные производственные бригады (АПБ). Как показала практика, их создание представляет собой наиболее успешное из найденных экспериментальных решений проблемы «гуманизации» содержания и организации труда [5].

Однако влияние ИКТ, глобализации мировой экономики на организацию труда и производства является не всегда позитивным, имеются и значительные отрицательные последствия. Экспансия транснациональных компаний (ТНК) на территорию России, других стран, перешедших к рыночной экономике, вносит кардинальные изменения в систему социально-трудовых отношений и организации труда в этих странах, что нарушает национальные механизмы социального взаимодействия. Международный капитал, перенося производства в страны с дешевой рабочей силой, слабым социальным законодательством, противодействует попыткам четко определить круг его обязанностей и стремится использовать свое растущее политическое влияние для осуществления жесткой политики либерализации и дерегулирования трудовых отношений. Все больше становится достоянием гласности негативная информация о существующих на предприятиях ТНК тяжелых и вредных условиях труда, несправедливом отношении к работникам, включая оплату труда, грубом отношении вплоть до физического насилия. Мы можем констатировать наличие противоречия между прогрессивным развитием производительных сил, проявляющимся в росте ТНК, и ухудшением условий труда на этих предприятиях. В результате на регулирование социально-трудовых отношений в ТНК было обращено внимание Международной организации труда (МОТ), которая приняла Трехстороннюю декларацию принципов о многонациональных предприятиях и социальной политике (1997 г. с доп. и изм. 2000 г.), и Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), разработавшей руководящие принципы для многонациональных предприятий (2000 г.) [5]. В соответствии с принятой в 1994 г. Директивой Комиссии ЕС о комитетах (советах) «европейских предприятий» создаются Европейские комитеты (или) советы предприятий. К ним относятся все предприятия, расположенные в государствах-членах ЕС. Директива обязывает центральную компанию вести переговоры и консультации с трудящимися предприятий, входящих в ТНК и расположенных на территории любой из стран ЕС [5].

Процесс глобализации представляет собой чрезвычайно сложное и неоднозначное явление, порождающее как позитивные, так и негативные тенденции в развитии социально-трудовых отношений. Экономические кризисы эпохи глобализации также имеют свою специфику, не вписываются в привычную теоретическую схему циклического экономического развития. Ухудшение экономических условий деятельности предприятий в период кризиса обостряет противоречия, порожденные глобализацией.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасова Н. Трудовые отношения в условиях глобализации и технологической революции (опыт стран Запада) / Н. Тарасова // Общество и экономика. 2000. № 1. С. 67-76.

2. Сухарев О.С. Экономическая эволюция и институты. «Инноваторы», «консерваторы» и экономическая политика / О.С. Сухарев. Брянск, 2003. 217 с.
3. Шлихтер А.А. Новые методы организации производства и стимулирования труда на предприятиях США, Японии и западноевропейских стран / А.А. Шлихтер // Труд за рубежом. 2004. № 1. С. 61-81.
4. Иноземцев В.Л. За пределами экономического общества / В.Л. Иноземцев. М.: АCADEMIA, 1998. 640 с.
5. Подшибякина Н. Социально-трудовые отношения в условиях переходной экономики / Н. Подшибякина // Общество и экономика. 2006. № 4. С. 40-85.
6. Бехманн Г. Современное общество: общество риска, информационное общество, общество знаний / Г. Бехманн. М.: Логос, 2012. 248 с.

**Мраморнова Ольга Владимировна** –  
доктор экономических наук, профессор  
кафедры «Экономическая теория  
и экономика труда» Саратовского  
государственного технического университета  
имени Гагарина Ю.А.

**Olga V. Mramornova** –  
Dr. Sc., Professor  
Department of Economics Theory  
and Labor Economics  
Gagarin Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 15.08.12, принята к опубликованию 06.11.12*