

ISSN 1816-210X

# ТРУДЫ НГТУ

им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА

Нижний Новгород

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»**

**ТРУДЫ**  
**НИЖЕГОРОДСКОГО**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО**  
**УНИВЕРСИТЕТА**  
**им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

**№ 1 (103)**

**Нижний Новгород 2014**

УДК 050(06)  
ББК 9я54  
Т 78

Т 78 Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева /  
НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. № 1 (103). – 323 с.

*Выходит 4 раза в год*

**Главный редактор С.М. Дмитриев**

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Н.Ю. Бабанов (зам. гл. редактора), М.В. Ширяев (зам. гл. редактора),  
Е.Г. Ивашкин (зам. гл. редактора), О.В. Пугина (отв. редактор),  
А.В. Крылова (гл. редактор выпуска), Т.П. Новикова (техн. редактор)

**Члены редколлегии:** В.Г. Баранов, В.Д. Вавилов, А.М. Грошев, В.М. Галкин, А.Н. Жуков,  
А.Б. Дарьенков, В.Е. Колотилин, А.А. Куркин, Д.Н. Лапаев, М.Г. Михаленко, А.Ю. Панов,  
В.П. Хранилов, А.Е. Хробостов, Е.А. Чернышов

## **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

**Председатель**

**Федор Михайлович Митенков**

(академик РАН, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
директор ОАО «ОКБМ Африкантов»)

**Заместитель председателя**

**Сергей Михайлович Дмитриев**

(д-р техн. наук, проф., ректор НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

**Ответственный секретарь**

**Владимир Викторович Беляков**

(д-р техн. наук, проф., начальник УНИИИР)

## **Зарубежные члены совета**

**Дмитрий Ефимович  
Пелиновский**

PhD, проф. математики, Университет Мак Мастера,  
Хамильтон, Онтарио, Канада

**Ласло Палкович**

Проф. Сечени Иштван Университет, Венгрия

**Варлаки Петер**

Проф. Сечени Иштван Университет, Венгрия

**Виджай Кумар**

Д-р философии, проф. – исследователь,

Шив Надар Университет, Индия

**Ялчнер Ахмед К.**

Д-р, профессор, METU, директор OERC, Турция

## **Члены Редакционного совета**

**Гуляев Юрий Васильевич**

Член Президиума РАН, академик, д-р физ.-мат. наук, проф.,  
директор Института радиоэлектроники РАН им. В.А. Котельникова

**Гринберг Руслан Семенович**

Член-кор. РАН, д-р эконом. наук, проф.,

Директор Института ФГБУН экономики РАН

**Бабанов Николай Юрьевич**

Канд. техн. наук, доцент, проректор на научной работе НГТУ

**Ширяев**

Канд. техн. наук, доцент, проректор по развитию НГТУ

**Михаил Виссарионович**

**Ивашкин**

Канд. техн. наук, доцент, проректор по учебной работе НГТУ

**Евгений Геннадьевич**

**Митяков Сергей Николаевич**

Д-р физ.-мат. наук, проф., директор ИНЭУ НГТУ

**Куркин Андрей Александрович**

Д-р мат. наук, проф., зав. кафедрой ПМ

**Воротынцев**

Д-р хим. наук, проф., зав. кафедрой ФТМКЭТ

**Владимир Михайлович**

**Кондратьев**

Член-кор. РАН, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ВСТ

**Вячеслав Васильевич**

**Рындык Александр Георгиевич**

Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ИР

**Раевский Сергей Борисович**

Д-р техн. наук, профессор

**Кошелев Олег Сергеевич**

Д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой МТКОДСП

**Кулепов Виктор Федорович**

Д-р техн. наук, профессор, директор ДПИ (филиал НГТУ)

УДК 050(06)  
ББК 9я54

*Электронная версия журнала:*  
<http://www.nntu.nnov.ru>

© Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева, 2014

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION**  
**FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION**  
**OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION**  
**NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY**  
**n.a. R.Y. ALEXEEV**

**TRANSACTIONS**  
**of NIZHNI NOVGOROD STATE TECHNICAL**  
**UNIVERSITY**  
**n.a. R.Y. ALEXEEV**

**№ 1 (103)**

**Nizhni Novgorod 2014**



**Editor-in-Chief S.M. Dmitriev**

**EDITORIAL BOARD**

N.Y. Babanov (Deputy Editor-in-Chief), M.V. Shiryaev (Deputy Editor-in-Chief),  
Y.G. Ivashkin (Deputy Editor-in-Chief), V.V. Belyakov (Executive Secretary), O.V. Pugina (Executive Editor),  
A.V. Krylova (Executive Editor), T.P. Novikova (Technical Editor)

**Members of Editorial Board:** V.G. Baranov, V.D. Vavilov, V.M. Galkin, A.M. Groshev, A.B. Darenkov,  
A.N. Zhukov, V.Y. Kolotilin, A.A. Kurkin, D.H. Lapaev, M.G. Mikhaleenko,  
A.Y. Panov, V.P. Khranilov, A.E. Khrobostov, Y.A. Chernyshov,

**EDITORIAL COUNCIL**

**Chairman**

**Fedor Mikhailovich Mitenkov**

Member of Russian Academy of Sciences

Head of OAO I.I. Afrikantov OKB Mechanical Engineering

Doctor of physical and mathematical sciences, professor

(Nizhniy Novgorod, Russia)

**Vice - chairman**

**Sergei Mikhailovich Dmitriev**

Doctor of technical sciences, professor

Rector of NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Executive Secretary**

**Vladimir Viktorovich Beliakov**

Doctor of technical sciences, professor

Head of NSTU Research and innovative works office

(Nizhniy Novgorod, Russia)

**Foreign members of Editorial council**

**Dmitri Efimovich  
Pelenovski**

PhD, Doctor of mathematical sciences, professor

McMaster University (Ontario, Canada)

**Laslo Palkovich**

The Széchenyi István University (Győr, Hungary)

**Varlaki Peter**

The Széchenyi István University (Győr, Hungary)

**Vidzhai Kumar**

PhD, Doctor of philosophical sciences, professor

Shiv Nadar University (India)

**Ialchner Akhmed K.**

professor, head of Ocean Engineering Research Center

Middle East Technical University (Turkey)

**Members of Editorial council**

**Guliaev Yuri Vasilevich**

Member of Russian Academy of Sciences

Doctor of physical and mathematical sciences, professor

Institute of Radio Engineering and Electronics (IREE) named after Academician V.A. Kotelnikov  
(Moscow, Russia)

**Grinberg Ruslan Semenovich**

Associate member of the Russian Academy of Sciences

Doctor of physical and mathematical sciences, professor

Director of the Institute for International Economic and Political Studies at the Russian Academy  
of Sciences

(Moscow, Russia)

**Babanov Nikolai Iurevich**

Doctor of technical sciences, professor

NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Shiriaev**

Candidate of technical sciences, docent

**Mikhail Vissarionovich**

Vice-rector for perspective projects

NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Ivashkin**

Candidate of technical sciences, docent

**Evgeni Gennadevich**

Vice-rector for teaching and learning enhancement

NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Mitiakov Sergei Nikolaevich**

Doctor of physical and mathematical sciences, professor

NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Kurkin Andrey Aleksandrovich**

Doctor of physical and mathematical sciences, professor

NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Vorotyntsev**

Doctor of chemical sciences, professor

**Vladimir Mikhailovich**

NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Kondratev**

Associate member of the Russian Academy of Sciences,

**Viacheslav Vasilevich**

Doctor of technical sciences, professor

NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Ryndyk Alexander Georgievich**

Doctor of technical sciences, professor

NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Raevski Sergei Borisovich**

Doctor of technical sciences, professor

NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Koshelev Oleg Sergeevich**

Doctor of technical sciences, professor

NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

**Kulepov Viktor Fedorovich**

Doctor of technical sciences, professor

NSTU (Nizhniy Novgorod, Russia)

*Electronic version of the journal:*

<http://www.nntu.nnov.ru>

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНАКАЦИЙ,<br/>АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ.....</b>                                                                                                                                    | <b>11</b>  |
| Баринава В.Ф., Белов Ю.Г., Звезда М.Ю., Нефедьев И.А. О сходимости алгоритма расчета цилиндрического металлодиэлектрического резонатора методом частичных областей.....                                             | 11         |
| Зимин В.В. Граничные условия в неизолированных системах.....                                                                                                                                                        | 21         |
| Ковалев А.Н., Ковалев Ф.Н. Алгоритм определения координат цели в просветном радиолокаторе с разнесенным приемом.....                                                                                                | 28         |
| <b>МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ.....</b>                                                                                                                                                                        | <b>36</b>  |
| Асеева Н.В., Бляхман Л.Г., Логвинова К.В., Тютин В.В. Затухающие солитоны в расширенном нелинейном уравнении Шредингера с пространственным индуцированным рассеянием и убывающей дисперсией.....                    | 36         |
| Зайцев А.И., Семин С.В., Костенко И.С. Натурные измерения и численное моделирование гидрологических параметров в озере Тунайча.....                                                                                 | 46         |
| Химич С.А., Орлов Ю.Ф. Задача о движении крыла за диском диполей над твердой поверхностью.....                                                                                                                      | 53         |
| <b>ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....</b>                                                                                                                                                                        | <b>59</b>  |
| Никулин Е.А. О разрешимости задачи циклической интерполяции.....                                                                                                                                                    | 59         |
| Жевнерчук Д.В., Родионов П.А., Захаров А.С. Исследование интероперабельности систем мониторинга вычислительных процессов и ресурсов.....                                                                            | 66         |
| Лазарев В.А. Построение интеллектуальной системы сопровождения автоматического тестирования.....                                                                                                                    | 73         |
| <b>МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ.....</b>                                                                                                                                                                          | <b>80</b>  |
| Петровский А.Н. К задаче оптимизации параметров зацепления М.Л. Новикова.....                                                                                                                                       | 80         |
| Кабалдин Ю.Г., Власов Е.Е., Просолович А.А., Хвостиков А.С. Оценка фрактальной размерности наноструктур.....                                                                                                        | 92         |
| Фролова И.Н., Люлина Т.С., Ларионов И.С. Выбор глобальной системы координат для элементов средств технологического оснащения.....                                                                                   | 98         |
| <b>ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА.....</b>                                                                                                                                                                 | <b>104</b> |
| Безносав А.В., Бокова Т.А., Махов К. А., Шумилков А.И., Черныш А.С. Экспериментальные исследования пристенного слоя: стенка конструкционного материала – свинцовый теплоноситель реактора на быстрых нейтронах..... | 104        |
| Дмитриев С.М., Каратушина И.В., Пронин А.Н., Сорокин В.Д., Хробостов А.Е. Экспериментальные исследования поля скорости потока теплоносителя в ТВСА реакторов ВВЭР и ВБЭР.....                                       | 113        |
| Узлов В.А., Шишков Г.И., Щербаков В.В. Основные физические параметры снежного покрова.....                                                                                                                          | 119        |

|                                                                                                                                                                                                                                            |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ.....</b>                                                                                                                                                                                                  | <b>130</b> |
| <b>Анучин И.Е., Беляков В.В., Егоров В.И.</b> Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик масштабных макетов автомобилей.....                                                                                            | 130        |
| <b>Беляков В.В., Зезюлин Д.В., Колотилин В.Е., Макаров В.С., Федоренко А.В.</b> К вопросу выбора экспериментальных данных для составления статистических моделей снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин.. | 136        |
| <b>Крясков В.Г., Анфимова Т.В., Гагунов С.А.</b> Анализ способов организации процессов демонтажа вышедших из эксплуатации транспортных средств для нужд утилизации.....                                                                    | 142        |
| <b>Соловьев Д.В., Лелиовский К.Я., Герасин А.В., Штурмин А.А.</b> Расчетные и экспериментальные исследования колебаний двигателя автомобиля на режиме холостого хода.....                                                                  | 150        |
| <b>ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ.....</b>                                                                                                                                                                                       | <b>156</b> |
| <b>Виноградов В.С.</b> Оценка надежности общесудовых систем на стадии их разработки и получение исходных данных для ее реализации.....                                                                                                     | 156        |
| <b>Горбиков Е.Н.</b> Оптимизация натяжения морского стояка.....                                                                                                                                                                            | 165        |
| <b>Францев М.Э.</b> Использование параметрических методов на ранних этапах разработки проекта амфибийных судов на воздушной подушке, полностью или частично изготовленных из композитов.....                                               | 172        |
| <b>ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА.....</b>                                                                                                                                                                                             | <b>180</b> |
| <b>Коробко Г.И., Лебедев В.В., Попов С.В.</b> Выделение сигнала нелинейных искажений при отклонении частоты и амплитуды сетевого напряжения.....                                                                                           | 180        |
| <b>Тихомиров В.А., Мальцев А.Н.</b> Автоматизация насосных станций на основе промышленного контроллера и SCADA системы.....                                                                                                                | 188        |
| <b>Соснина Е.Н., Филатов Д.А.</b> Автоматизированная информационная база данных по энергоустановкам на возобновляемых источниках энергии.....                                                                                              | 194        |
| <b>МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.....</b>                                                                                                                                                                                                 | <b>200</b> |
| <b>Гущин В.Н., Ульянов В.А.</b> Исследование влияния внешних воздействий на развитие двухфазной зоны стальных заготовок.....                                                                                                               | 200        |
| <b>Кидалов Н.А., Князева А.С.</b> Исследование влияния понизителя вязкости углекислотного реагента на бентонитовые водно-глинистые суспензии и свойства формовочных смесей на их основе.....                                               | 205        |
| <b>Леушин И.О., Чистяков Д.Г., Марфенин С.Н.</b> Повышение эксплуатационной стойкости деталей чугунных стеклоформ путем совершенствования технологий их изготовления и контроля.....                                                       | 212        |
| <b>ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОТЕХНОЛОГИИ.....</b>                                                                                                                                                                                              | <b>225</b> |
| <b>Востоков В.М., Смирнова В.М., Ивашкин Е.Г.</b> Статистическая оценка экологического риска и техносферной безопасности агробиопроизводств по результатам мониторинга уровня контаминации комбикормовой продукции.....                    | 225        |
| <b>Воротынцев В.М., Воротынцев А.В., Воротынцев И.В., Петухов А.Н., Шарыгина О.Н.</b> Получение генераторного газа пиролизом горючих смесей.....                                                                                           | 236        |

|                                                                                                                                                                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ.....</b>                                                                                                                                                                          | <b>243</b> |
| <b>Иванов А.А., Иванова Н.Д., Вяткин А.В.</b> Методические вопросы оценки уровня и качества жизни населения (на примере Нижегородской области).....                                                                    | 243        |
| <b>Корнилов Д.А.</b> Рейтинги ВУЗов и цитируемость российских ученых. Рейтинги отечественных и зарубежных экономических журналов.....                                                                                  | 253        |
| <b>Летягин М.А.</b> Модель эффективного отбора управленческого работника в кадровый резерв.....                                                                                                                        | 263        |
| <b>Митяков Е.С.</b> Структура информационной системы мониторинга экономической безопасности регионов России.....                                                                                                       | 268        |
| <b>Фролова М.М.</b> Особенности осуществления иностранных инвестиций в стратегические предприятия.....                                                                                                                 | 274        |
| <b>СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ.....</b>                                                                                                                                                   | <b>282</b> |
| <b>Багаев А.В. И.А. Ильин</b> об управлении в социально-экономической сфере советского общества.....                                                                                                                   | 282        |
| <b>Шелеп И.А.</b> Событийные парадигмы продвижения: возможности и ограничения.....                                                                                                                                     | 293        |
| <b>МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ.....</b>                                                                                                                                      | <b>303</b> |
| <b>Колпашников В.П., Красильников Д.Е.</b> О построении интервала разброса значений экономических показателей, полученных по линии регрессии.....                                                                      | 303        |
| <b>Мошкова А.Н., Ерлыкина Е.И., Хватова Е.М., Тежикова Н.П.</b> Выбор эмпирических зависимостей для оценки и прогнозирования функционального состояния ферментных комплексов дыхательной цепи в условиях гипоксии..... | 311        |

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                         |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>RADIO ENGINEERING, TELECOMMUNICATION SYSTEMS,<br/>AERIALS AND SHF DEVICES.....</b>                                                                                                                   | <b>11</b>  |
| <b>Barinova V.F., Belov Yu.G., Zvezdova M.Yu., Nefed'ev I.A.</b> The convergence of algorithm of calculation of the cylindrical metaldielectric resonator by partial areas method..                     | 11         |
| <b>Zimin V.V.</b> Boundary conditions in not isolated systems.....                                                                                                                                      | 21         |
| <b>Kovalev A.N., Kovalev F.N.</b> Algorithm of estimating the target coordinates in forward-scattering multistatic radar system .....                                                                   | 28         |
| <b>MECHANICS OF FLUID, GAS AND PLASMA .....</b>                                                                                                                                                         | <b>36</b>  |
| <b>Aseeva N.V., Blyakhman L.G., Logvinova K.V., Tyutin V.V.</b> Damped solitons in an extended nonlinear Schrödinger equation with a spatial stimulated Raman scattering and decreasing dispersion..... | 36         |
| <b>Zaytsev A.I., Semin S.V., Kostenko I.S.</b> Natural measurements and numerical modeling of hydrological parameters of tunaicha lake.....                                                             | 46         |
| <b>Khimich S., Orlov Y.</b> The problem of the motion of wing behind dipole disc above solid surface.....                                                                                               | 53         |
| <b>INFORMATION SCIENCE AND CONTROL SYSTEMS.....</b>                                                                                                                                                     | <b>59</b>  |
| <b>Nikulin E.A.</b> On the solvability of cyclic interpolation problem.....                                                                                                                             | 59         |
| <b>Zhevnerchuk D.V., Rodionov P.A., Zaharov A.S.</b> Resource and computing processes monitoring systems interoperability research.....                                                                 | 66         |
| <b>V.A. Lazarev.</b> Developing of intellectual support system for automated testing.....                                                                                                               | 73         |
| <b>MECHANICAL ENGINEERING AND AUTOMATION .....</b>                                                                                                                                                      | <b>80</b>  |
| <b>Petrovsky A.N.</b> Novikov gearing parameters optimization problem.....                                                                                                                              | 80         |
| <b>Kabaldin Y.G., Vlasov E.E., Prosolovich A.A., Hvostikov A.S.</b> Evaluation of fractal dimension nanostructures.....                                                                                 | 92         |
| <b>Frolova I.N., Lyulina T.S., Larionov J.S.</b> Choice for global coordinate systems elements technological equipment.....                                                                             | 98         |
| <b>NUCLEAR POWER ENGINEERING AND APPLIED PHYSICS .....</b>                                                                                                                                              | <b>104</b> |
| <b>Beznosov A.V., Bokova T.A., Mahov K.A., Shumilkov A.I., Chernysh A.S.</b> Experimental studies boundary layer: a wall construction material - lead-cooled fast breeder reactor.....                  | 104        |
| <b>Dmitriev S.M., Karatushina I.V., Pronin A.N., Sorokin V.D., Khrobostov A.E.</b> Experimental researches of velocity fields in fuel assemblies of wwer and vber reactors.....                         | 113        |
| <b>Uzlov V.A., Shishkov G.I., Sherbakov V.V.</b> The basic physical parameters of the snow cover.....                                                                                                   | 119        |

|                                                                                                                                                                                                                                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>LAND-BASED TRANSPORT SYSTEMS .....</b>                                                                                                                                                                                                          | <b>130</b> |
| <b>Anuchin I.E., Belyakov V.V., Egorov V.I.</b> Experimental research of aerodynamics characteristics of vehicles scale models.....                                                                                                                | 130        |
| <b>Belyakov V.V., Zezyulin D.V., Kolotilin V.E., Makarov V.S., Fedorenko A.V.</b> To the choice of the experimental data for creation of statistical models of snow cover as support base for transport and technological vehicles.....            | 136        |
| <b>Kryaskov V.G., Anfimova T.V., Gagunov S.A.</b> Analysis of methods of elv dismantling process for the needs of recycling.....                                                                                                                   | 142        |
| <b>Solovyov D.V., Leliovsky K.Y., Gerasin A.V., Sturmin A.A.</b> Estimated and experimental vibration research of automobile engine on smooth idling rate.....                                                                                     | 150        |
| <b>PROBLEMS OF SHIPBUILDING AND OCEAN TECHNOLOGY.....</b>                                                                                                                                                                                          | <b>156</b> |
| <b>Vinogradov V.S.</b> Valuation of reliability general-purpose marine systems and obtaining the input data for its realization.....                                                                                                               | 156        |
| <b>Gorbikov E.N.</b> Optimization of the marine riser tension.....                                                                                                                                                                                 | 165        |
| <b>Frantsev M.E.</b> The parametric methods have used in the early stages of project development of hovercraft from composites.....                                                                                                                | 172        |
| <b>ELECTRICAL ENGINEERING AND POWER INDUSTRY .....</b>                                                                                                                                                                                             | <b>180</b> |
| <b>Korobko G.I., Lebedev V.V., Popov S.V.</b> Isolation of nonlinear distortion signal when the frequency and the amplitude of supply voltage changing.....                                                                                        | 180        |
| <b>Tihomirov V.A., Maltsev A.N.</b> Automation of pumping station based on plc and scada system.....                                                                                                                                               | 188        |
| <b>Sosnina E.N., Filatov D.A.</b> Automated information database power installations on renewable energy.....                                                                                                                                      | 194        |
| <b>METALLURGY AND SCIENCE MATERIALS .....</b>                                                                                                                                                                                                      | <b>200</b> |
| <b>Gushchin V.N., Ulyanov V. A.</b> Study of the influence of external influences on the development zone two-phase steel blanks.....                                                                                                              | 200        |
| <b>Kidalov N. A., Knyazeva A. S.</b> The study of influence viscosity reducers - lignin-alkaline reagent on bentonite water-clay suspensions and properties moulding mixture based on suspension.....                                              | 205        |
| <b>Leushin I.O., Chistyakov D.G.</b> The increasing of operational stability of details glass-moulds by improving of technology production and control.....                                                                                        | 212        |
| <b>CHEMISTRY, CHEMICAL AND BIOTECHNOLOGIES .....</b>                                                                                                                                                                                               | <b>225</b> |
| <b>Vostokov V. M., Smirnova V. M., Ivashkin E.G.</b> Statistical assessment of an environmental risk and technosphere safety of agrobioproductions according to the results of monitoring of a contamination level of formula-feed production..... | 225        |
| <b>Vorotyntsev V.M., Vorotyntsev A.V., Petukhov A.N., Vorotyntsev I.V., Sharigina O.N.</b> The producer gas production by pyrolysis of the combustible mixture.....                                                                                | 236        |
| <b>ECONOMICS, INNOVATIONS AND MANAGEMENT .....</b>                                                                                                                                                                                                 | <b>243</b> |
| <b>Ivanov A.A., Ivanova N.D., Viatkin A.V.</b> Activity-based cost system and balanced scorecard application peculiarities on the russian enterprises.....                                                                                         | 243        |

---

|                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Kornilov D.A.</b> Ratings of higher education institutions and quoting of the russian scientists. ratings of russian and foreign economic magazines.....                                           | 253 |
| <b>Letyagin M.A.</b> Model of effective selection of managerial employees in the personnel reserve.....                                                                                               | 263 |
| <b>Mityakov E.S.</b> Structure of the information monitoring system of the economic security of the russian federation regions.....                                                                   | 268 |
| <b>Frolova M.M.</b> Foreign investments in the strategic organizations.....                                                                                                                           | 274 |
| <b>SOCIAL SCIENCES, EDUCATIONAL INNOVATIONS, PR-TECHNOLOGIES.....</b>                                                                                                                                 | 282 |
| <b>Bagaev A.V.</b> I.A. Ilyin about social-economic steering in soviet society.....                                                                                                                   | 282 |
| <b>Shelep I.A.</b> Eventfulness paradigm of promotion: possibilities and limitations.....                                                                                                             | 293 |
| <b>MATHEMATICAL METHODS IN NATURAL, TECHNICAL ANDSOCIAL SCIENCES .....</b>                                                                                                                            | 303 |
| <b>Kolpashnikov V.P., Krasilnikov D.E.</b> On dispersion range construction for economic values obtained from linear regression.....                                                                  | 303 |
| <b>Moshkova A.N., Erlykina E.I., Khvatova E.M., Tezhikova N.P.</b> The option of empirical dependences for the assessment and prognostication of enzymatic complexes functional state in hypoxia..... | 311 |

## РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ

УДК 621.372.413

В.Ф. Барина<sup>1</sup>, Ю.Г. Белов<sup>1</sup>, М.Ю. Звездова<sup>2</sup>, И.А. Нефедьев<sup>1</sup>

### О СХОДИМОСТИ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА МЕТОДОМ ЧАСТИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
ОАО «ГИПРОГАЗЦЕНТР»<sup>2</sup>

Рассмотрен диэлектрический резонатор, расположенный на диэлектрической подложке в цилиндрическом экране. Приведена постановка задачи расчета характеристик резонатора на основе метода частичных областей, представлены результаты исследования внутренней сходимости расчетного алгоритма.

*Ключевые слова:* экранированный диэлектрический резонатор, метод частичных областей, резонансная частота, добротность.

Металлодиэлектрические резонаторы (МДР) применяются в составе различных радиоэлектронных устройств: в СВЧ-усилителях, автогенераторах, фильтрах и др. [1–3]. Для расчета характеристик МДР (резонансных частот колебаний, структур их полей, добротности) широко используется метод частичных областей (МЧО). Резонансный объем разбивается на области таким образом, чтобы в каждой из них можно было поставить краевую задачу и определить полный набор собственных функций.

В настоящей работе рассматривается применение МЧО для расчета колебательной системы, используемой в конструкциях СВЧ-автогенераторов [3]. Она представляет собой цилиндрический экран, в котором соосно расположен диэлектрический резонатор (ДР) на диэлектрической подложке (рис. 1, а). На подложке также размещаются элементы микрополосковой схемы автогенератора. В настоящей работе влияние этих элементов на характеристики ДР не учитывается.

На рис. 1, б, в показаны два варианта разбиения резонансного объема МДР на частичные области (ЧО). Эти варианты наиболее широко применяются в настоящее время при расчете металлодиэлектрических структур.

В варианте, показанном на рис. 1, б, горизонтальными плоскостями резонансный объем разбивается на отрезки круглых экранированных волноводов: области 1 и 4 – короткозамкнутые с одного конца отрезки, соответственно полого и однородно заполненного круглого волноводов; области 2 и 3 в совокупности являются отрезками круглого волновода с диэлектрическим стрежнем. В варианте, показанном на рис. 1, в, используется «вертикальное» разбиение. Цилиндрической поверхностью  $r = a$  резонансный объем разбивается на отрезки слоистых радиальных волноводов: области 1, 2, 3 образуют отрезок трехслойного радиального волновода (I), области 4 и 5 – короткозамкнутый отрезок двухслойного радиального волновода (II).

Следует отметить, что алгоритмы на основе двух последних вариантов разбиений не-



равноценны по вычислительной сложности. При «горизонтальном» разбиении (рис. 1, б) одной из ЧО является отрезок круглого экранированного двухслойного волновода (КЭДВ). Поэтому при вычислении резонансной частоты МДР на каждом шаге итерационного процесса необходимо рассчитывать собственные числа краевой задачи из дисперсионного уравнения КЭДВ. Алгоритм решения этого уравнения является достаточно сложным. Кроме того, при определенных параметрах диэлектрического заполнения в определенных частотных диапазонах некоторые собственные числа оказываются [4] комплексными. К другим особенностям КЭДВ, которые необходимо учитывать при решении задачи о расчете МДР, относят явления аномальной дисперсии и вырождения типов волн [5]. Названные особенности КЭДВ приводят к целому ряду вычислительных проблем при практической реализации алгоритма решения характеристического уравнения МДР.

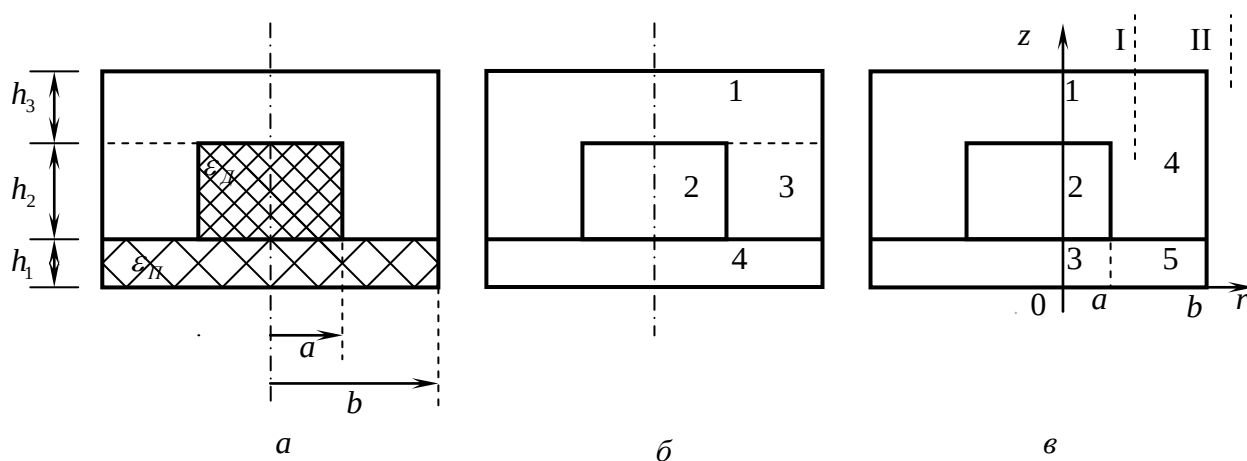


Рис. 1. Цилиндрический металлодиэлектрический резонатор (а) и варианты разбиения резонансного объема на частичные области (б, в)

Вариант МЧО, основанный на декомпозиции резонансного объема МДР на ЧО в виде отрезков радиальных слоистых волноводов (рис. 1, в) («вертикальное» разбиение) свободен от недостатков, свойственных варианту с «горизонтальным» разбиением. Во-первых, дисперсионные уравнения  $LM$ - и  $LE$ -волн в радиальном слоистом волноводе (решение этих уравнений необходимо на каждом шаге итерационного процесса вычисления резонансной частоты МДР) существенно проще, чем дисперсионное уравнение  $HE$ - и  $EH$ -волн круглого слоистого волновода. Во-вторых, собственные волны радиальных слоистых волноводов обладают целым рядом свойств, существенно отличающихся от свойств волн круглых слоистых волноводов. Как известно [4], краевая задача, описывающая волны в плоскопараллельном волноводе, относится к классу самосопряженных.

Следовательно, в отсутствии диссипации энергии волновые числа таких волн могут быть либо чисто действительными, либо чисто мнимыми. В работе [6] показано, что дисперсионные характеристики  $LM$ - и  $LE$ -волн в прямоугольном слоистом волноводе не имеют особенностей (аномальная дисперсия, двух-, трехкратное вырождение), свойственных волнам круглого слоистого волновода. Свойства же волн радиального и прямоугольного слоистых волноводов тождественны, поскольку дисперсионные уравнения этих волноводов совпадают.

Таким образом, вариант МЧО, основанный на «вертикальном» разбиении, обладает существенными преимуществами при численной реализации, что обусловило его широкое применение, в том числе для резонаторов со сложным металлодиэлектрическим заполнением [7].

Важное общее свойство рассмотренных вариантов МЧО, обусловленное использованием базисов СФ слоистых волноводов, – это сильная зависимость скорости сходимости получаемых результатов от соотношения геометрических размеров резонансной структуры. Поэтому при практической реализации алгоритмов расчета характеристик МДР на основе этих вариантов МЧО большое значение имеет исследование сходимости значений резонанс-

ных частот и добротности колебаний, точности выполнения граничных условий в зависимости от числа СФ, учитываемых в ЧО. В настоящей работе представлены результаты таких исследований применительно к резонансной структуре (рис. 1, а) расчет которой производился на основе МЧО с «вертикальным» разбиением (рис. 1, в).

В резонаторе возбуждается основной тип колебаний – симметричное магнитное колебание, которое является рабочим в колебательных системах СВЧ - автогенераторов [3]. Это колебание имеет в каждой из ЧО структуры (рис. 1, в) три составляющие электромагнитного поля  $H_z$ ,  $H_r$  и  $E_\phi$ , которые выражаются через магнитный вектор Герца  $\Pi_z^h$ .

При составлении характеристического уравнения полагаем, что экран идеально проводящий, а диэлектрики ДР и подложки – без потерь. В дальнейшем при расчете добротности потери в металле экрана и диэлектриках будут учтены методом возмущений.

Выражения для магнитного вектора Герца  $\Pi_z^h$  в областях 1, 2 и 3 структуры (рис. 1, в), являющиеся решениями уравнения Гельмгольца в этих областях, представляем в виде бесконечных наборов по значениям собственных чисел  $\beta_{1p}$ ,  $\beta_{2p}$ ,  $\beta_{3p}$  краевой задачи трехслойного радиального волновода ( $p$  – номер собственного числа):

$$\begin{aligned}\Pi_{z1}^h &= \sum_{(p)} A_{1p} J_0(\chi_p r) \sin \beta_{1p} (z - H), \quad (H = h_1 + h_2 + h_3); \\ \Pi_{z2}^h &= \sum_{(p)} A_{2p} J_0(\chi_p r) \sin \beta_{2p} (z + \delta_p); \\ \Pi_{z3}^h &= \sum_{(p)} A_{3p} J_0(\chi_p r) \sin \beta_{3p} z.\end{aligned}\quad (1)$$

В областях 4 и 5 выражения для  $\Pi_z^h$  строятся аналогично в виде бесконечных наборов по значениям собственных чисел  $\beta_{4q}$ ,  $\beta_{5q}$  краевой задачи двухслойного радиального волновода ( $q$  – номер собственного числа):

$$\begin{aligned}\Pi_{z4}^h &= \sum_{(q)} B_q R_0(\alpha_q r) \sin \beta_{4q} (z - H); \\ \Pi_{z5}^h &= \sum_{(q)} C_q R_0(\alpha_q r) \sin \beta_{5q} z.\end{aligned}\quad (2)$$

В (1) и (2) обозначено:  $A_{1p}$ ,  $A_{2p}$ ,  $A_{3p}$ ,  $B_q$ ,  $C_q$  и  $\delta_q$  – неизвестные постоянные;  $R_0(\alpha_q r) = J_0(\alpha_q r) \cdot N_0'(\alpha_q b) - J_0'(\alpha_q b) \cdot N_0(\alpha_q r)$ ;  $J_0(x)$  и  $N_0(x)$  – соответственно функции Бесселя и Неймана нулевого порядка;  $J_0'(x) = dJ_0/dx$ ;  $N_0'(x) = dN_0/dx$ .

Волновые числа, входящие в (1) и (2), связаны между собой соотношениями

$$\beta_{1p}^2 = k^2 - \chi_p^2; \quad \beta_{2p}^2 = \varepsilon_d k^2 - \chi_p^2; \quad \beta_{3p}^2 = \varepsilon_n k^2 - \chi_p^2; \quad (3, a)$$

$$\beta_{4p}^2 = k^2 - \alpha_q^2; \quad \beta_{5p}^2 = \varepsilon_n k^2 - \alpha_q^2, \quad (3, б)$$

где  $k = \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}$  – волновое число в свободном пространстве ( $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м);  $\varepsilon_d$  и  $\varepsilon_n$  – относительные диэлектрические проницаемости материала ДР и подложки. При записи выражений (1) и (2) учтено условие равенства нулю тангенциальной составляющей электрического поля на поверхности металлического экрана:

$$E_\phi|_{s_3} = 0 (E_\phi \sim \partial \Pi_z^h / \partial r).$$

Для составления характеристического уравнения используем условия непрерывности тангенциальных составляющих полей на границах частичных областей. Из условий непрерывности составляющих  $E_\phi$  и  $H_r$  на границах областей 1 и 2, 2 и 3 (рис. 1, в) получаем уравнение

$$\frac{\text{tg} \beta_{3p} h_1}{\beta_{3p}} + \frac{\frac{\text{tg} \beta_{1p} h_3 + \text{tg} \beta_{2p} h_2}{\beta_{1p} \beta_{2p}}}{1 - \frac{\beta_{2p}}{\beta_{1p}} \text{tg} \beta_{1p} h_3 \cdot \text{tg} \beta_{2p} h_2} = 0. \quad (4)$$

Уравнение (4) совместно с соотношениями

$$\beta_{2p}^2 = \beta_{1p}^2 + k^2 \cdot (\epsilon_d - 1); \beta_{3p}^2 = \beta_{1p}^2 + k^2 \cdot (\epsilon_n - 1), \quad (5)$$

которые следуют из (3, а), позволяют определить значения продольных волновых чисел  $\beta_{1p}$ ,  $\beta_{2p}$ ,  $\beta_{3p}$  и поперечного волнового числа  $\chi_p = \sqrt{k^2 - \beta_{1p}^2}$  ( $p=1, 2, 3, \dots$  – номер решения уравнения (4)) волн радиального волновода I (рис. 1, в).

Аналогичным образом, используя условия непрерывности тангенциальных составляющих электрического и магнитного полей на границе областей 4 и 5 (рис. 1, в) получаем уравнение

$$\frac{\text{tg}\beta_{4q}(h_2 + h_3)}{\beta_{4q}} + \frac{\text{tg}\beta_{5q}h_1}{\beta_{5q}} = 0. \quad (6)$$

Это уравнение совместно с соотношением

$$\beta_{5q}^2 = \beta_{4q}^2 + k^2(\epsilon_n - 1), \quad (7)$$

которое следует из (3, б), позволяет определить значения продольных волновых чисел  $\beta_{4q}$ ,  $\beta_{5q}$  и поперечного волнового числа  $\alpha_q = \sqrt{k^2 - \beta_{4q}^2}$  ( $q=1, 2, 3, \dots$  – номер решения уравнения (6)) волн радиального волновода II (рис. 1, в).

Условия непрерывности тангенциальных составляющих полей на цилиндрической границе радиальных волноводов I и II:

$$H_{zI} = H_{zII}|_{r=a}, E_{\phi I} = E_{\phi II}|_{r=a} \quad (8)$$

приводят к системе уравнений, содержащих функциональную зависимость от продольной координаты  $z$ . Для исключения этой зависимости используется условие ортогональности СФ радиальных волноводов I и II. В результате получается система однородных линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно неизвестных амплитудных коэффициентов в областях 1–6. Исключая из этой системы все неизвестные коэффициенты, кроме  $A_{2p}$ , получаем однородную СЛАУ относительно этих коэффициентов:

$$\sum_{(p)} \chi_p A_{2p} J_0'(\chi_p a) [\alpha_q \frac{J_0'(\chi_p a)}{J_0(\chi_p a)} R_0(\alpha_q a) - \chi_p R_0'(\alpha_q a)] K_{pq} = 0, \quad (q = 1, 2, 3, \dots). \quad (9)$$

В уравнении (9)  $K_{pq}$  – коэффициенты разложения СФ радиального волновода I по СФ радиального волновода II.

Характеристическое уравнение резонатора получаем из условия нетривиальности решений СЛАУ (9), приравнявая нулю ее определитель:

$$\Delta_{PQ} = 0, \quad (10)$$

где  $P, Q$  – количество членов, учитываемых в рядах (1) и (2). При  $P=Q=1$  уравнение (10) позволяет рассчитать значение резонансной частоты  $f_{\text{рез}}$  МДР в первом (простейшем) приближении. При  $P=Q=2, 3, 4, \dots$  получим значения  $f_{\text{рез}}$  соответственно во 2-м, 3-м, 4-м и т.д. приближениях.

Расчет добротности МДР производим методом возмущений [8] с учетом потерь в диэлектриках ДР и подложки и в металле экрана:

$$Q = \omega_0 \frac{\sum_{(i)} W_i}{\sum_{(i)} P_{\text{Ди}} + \sum_{(i)} P_{\text{Ми}}}, \quad (11)$$

где  $\omega_0$  – резонансная частота;  $W_i$  – запасенная энергия;  $P_{\text{Ди}}, P_{\text{Ми}}$  – мощности потерь, соответственно, в диэлектрике и в металле. В (11) при определении запасенной энергии суммирование производится по всем частичным областям МДР (рис. 1, в) ( $i=1, 2, \dots, 5$ ), при определении мощности потерь в диэлектрике – по областям 2, 3 и 5, в металле – по областям 1, 3, 4, 5.

Для симметричного магнитного колебания, которое имеет единственную отличную от нуля составляющую электрического поля  $E_\phi$ , удобно рассчитывать запасенную энергию электрического поля:

$$W_i = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_i \int_{V_i} |E_{\varphi i}|^2 dV, \quad (12)$$

где  $V_i$  – объем  $i$ -й частичной области;  $\varepsilon_i$  – относительная диэлектрическая проницаемость заполнения этой области.

В соответствии с методом возмущений записываем

$$P_{Di} = \frac{1}{2} \omega \varepsilon_0 \varepsilon_i \operatorname{tg} \delta_i \int_{V_i} |E_{\varphi i}|^2 dV, \quad P_{Mi} = \frac{1}{2} R_S \int_{S_i} |H_{\tau i}|^2 dS, \quad (13)$$

где  $\operatorname{tg} \delta_i$  – тангенс угла диэлектрических потерь диэлектрика  $i$ -й частичной области;  $S_i$  – площадь поверхности металлического экрана  $i$ -й частичной области;  $R_S = \sqrt{\omega \mu_0 / 2\sigma}$  – поверхностное сопротивление;  $\sigma$  – проводимость металла. В формулах (12) и (13)  $E_{\varphi i}$  и  $H_{\tau i}$  – амплитуды соответственно электрического и магнитного полей в резонаторе без потерь.

Расчет величины добротности по формулам (11)–(13) так же, как и резонансной частоты, из уравнения (10) можно произвести в различных приближениях в зависимости от числа СФ, учитываемых в рядах (1) и (2).

Поскольку выражения для определения резонансной частоты и добротности МДР записываются в незамкнутой форме, значительный интерес представляет исследование сходимости полученных расчетных алгоритмов в зависимости от числа учитываемых СФ. Далее представлены результаты такого исследования. Помимо исследования сходимости значений резонансной частоты и добротности, производилось также изучение точности выполнения граничных условий (8) на цилиндрической границе  $r=a$  радиальных волноводов I и II (рис. 1, в). Следует отметить, что на плоских границах  $z=h_1$  и  $z=h_1+h_2$  (рис. 1, а) слоев в радиальных волноводах граничные условия выполняются точно в любом приближении, поскольку дисперсионные уравнения (4) и (6) волн в радиальных слоистых волноводах записываются в замкнутой форме.

Численные исследования проводились для МДР, входящего в состав колебательной системы транзисторного автогенератора 3-сантиметрового диапазона [3]. Резонатор диаметром 4,1 мм и толщиной 1,8 мм, изготовленный из высокочастотной керамики ТБНС ( $\varepsilon_d=82$ ,  $\operatorname{tg} \delta_d=3 \cdot 10^{-4}$ ), располагался в цилиндрическом экране с серебряным покрытием ( $\sigma=5,7 \cdot 10^7$  См/м) на подложке микрополосковой платы из поликора ( $\varepsilon_n=9,8$ ,  $\operatorname{tg} \delta_n=10^{-4}$ ) толщиной 1 мм. Для удобства геометрические размеры структуры (рис. 1, а) были нормированы к радиусу  $a$  ДР:  $h_1/a=0,488$ ;  $h_2/a=0,876$ . При проведении исследований варьировались размеры экрана: относительные диаметр  $b/a$  и высота, которая при фиксированных значениях  $h_1/a$  и  $h_2/a$  определяется величиной  $h_3/a$ .

Рассмотрим результаты исследования сходимости решений характеристического уравнения (10). На рис. 2, а, б, в представлены графики зависимости нормированного к радиусу ДР резонансного волнового числа  $k_0 a$  от размера  $h_3/a$  при трех различных значениях диаметра экрана  $b/a$ . Эти графики, по сути, представляют собой настроечные характеристики резонатора (рис. 1), так как на практике перестройка резонансной частоты обычно производится [3] изменением положения верхней крышки экрана. Цифрами 1, 2, 3 и 4 отмечены настроечные характеристики, рассчитанные соответственно в первом, втором, третьем и четвертом приближениях, т.е. с учетом от одной до четырех СФ в частичных областях структуры (рис. 1, в).

Из рис. 2, а–в видно, что с увеличением размеров экрана резонансная частота, как и следовало ожидать, уменьшается. Графики на рис. 2, а–в иллюстрируют хорошую сходимость решений характеристического уравнения: значения  $k_0 a$ , рассчитанные в третьем и четвертом приближениях, различаются не более, чем на 0,2%, в то время как различие значений, полученных в первом и четвертом приближениях, достигает 3%. Сходимость сильно зависит от размеров экрана: с увеличением высоты и радиуса экрана она ухудшается. Как и следовало ожидать, наилучшая сходимость решений характеристического уравнения имеет место, когда экран располагается близко к ДР (рис. 2, а).

Дополнительно было исследовано влияние на сходимость формы ДР, которая характеризуется величиной  $h_2/a$ . Так, для тонкого ДР ( $h_2/a=0,2$ ) различие значений  $k_0 a$  в первом и

четвертом приближениях составляет 3,1%, т.е. практически столько же, сколько при  $h_2/a=0,876$ , а для толстого ДР ( $h_2/a=2,0$ ) это различие немного уменьшается (до 2,1%).

Таким образом, форма ДР не оказывает существенного влияния на скорость сходимости решений характеристического уравнения.

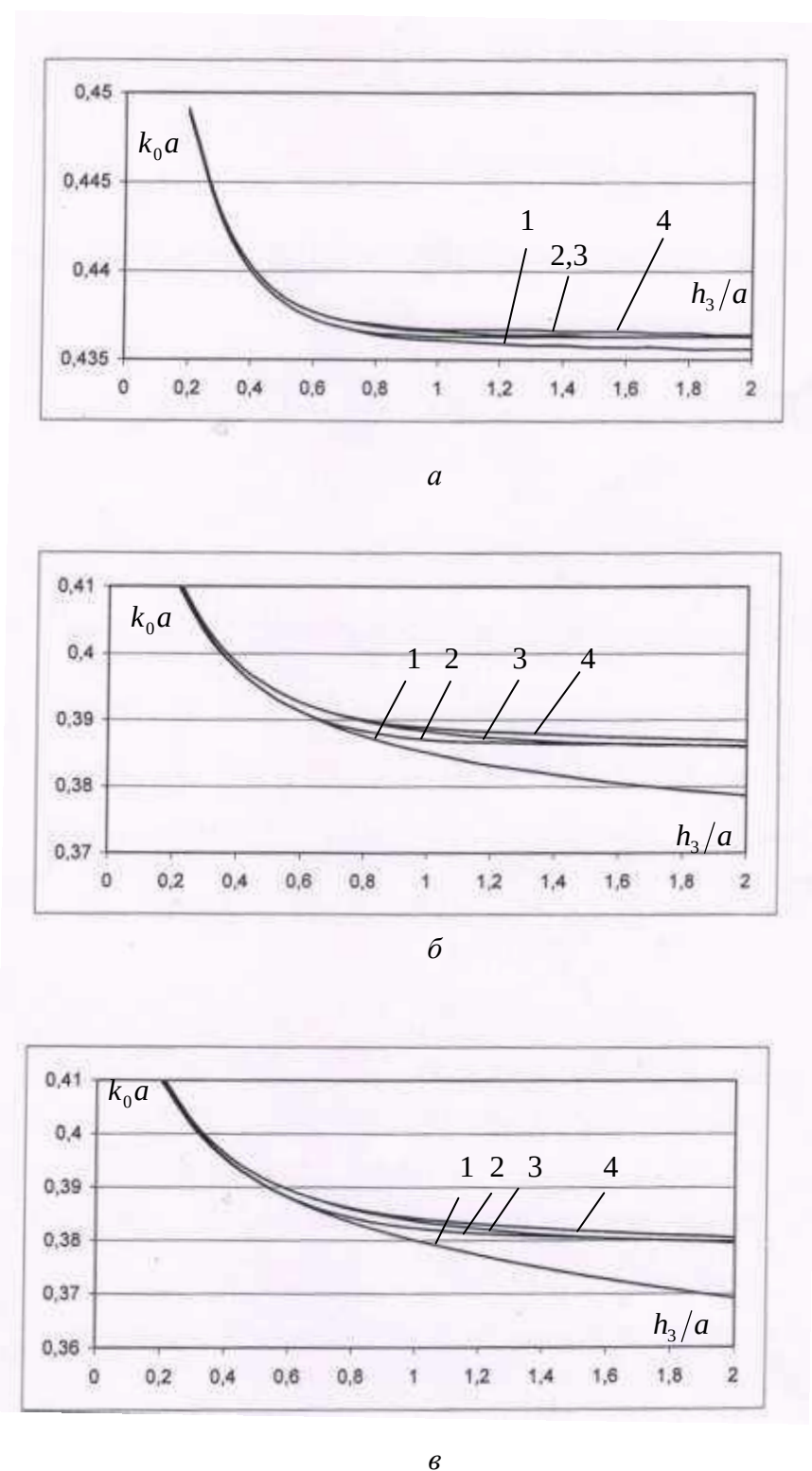


Рис. 2. Графики зависимости резонансного волнового числа от положения верхней крышки экрана при различных значениях его диаметра:  
 $a - b/a = 1,2$ ;  $б - b/a = 2,0$ ;  $в - b/a = 5,0$

Результаты расчета добротности МДР в различных приближениях представлены в табл. 1. Расчеты производились для ДР с размерами, указанными ранее. Высота экрана была выбрана равной 4,85 мм, что соответствует значению параметра  $h_3/a=1,0$ . Радиус экрана варьировался от 2,46 ( $b/a=1,2$ ) до 10,25 мм ( $b/a=5,0$ ).

Таблица 1

| $b/a$     | 1,2  | 1,5   | 2,0  | 3,0  | 5,0   |
|-----------|------|-------|------|------|-------|
| $b$ , мм  | 2,46 | 3,075 | 4,10 | 6,15 | 10,25 |
| $Q^{(1)}$ | 2283 | 2703  | 2897 | 2911 | 2916  |
| $Q^{(2)}$ | 2208 | 2652  | 2791 | 2759 | 2766  |
| $Q^{(3)}$ | 2204 | 2737  | 2988 | 3001 | 3006  |
| $Q^{(4)}$ | 2205 | 2793  | 3126 | 3185 | 3186  |

Как видно из табл. 1, при увеличении радиуса экрана добротность растет. Аналогичный характер имеет зависимость добротности от расстояния  $h_3$  до верхней крышки экрана. При удалении экрана от ДР добротность приближается к значению  $1/\text{tg}\delta_d$ , что свидетельствует о концентрации поля в диэлектрике резонатора.

Сходимость значений добротности ухудшается по мере роста радиуса экрана. Если при  $b/a=1,2$  различие значений  $Q$  в первом и четвертом приближениях составляет 3,5%, то при  $b/a=5,0$  оно возрастает до 9%. Этот результат позволяет предположить, что с увеличением номера приближения (с увеличением числа СФ, учитываемых в рядах (1) и (2)) довольно значительно изменяется структура электромагнитного поля в МДР.

Данное предположение подтверждают приведенные далее результаты исследования распределения электромагнитного поля в резонаторе. Это исследование проводилось с целью проверки точности выполнения граничных условий (8) на поверхности  $r=a$  (рис. 1, в). Результаты расчетов при  $h_3/a=1,0$  и разных размерах экрана представлены на рис. 3 ( $b/a=1,2$ ) и рис. 4 ( $b/a=5,0$ ). На них приведены графики зависимости от координаты  $z$  компонент  $H_z^{(i)}$  и  $E_\phi^{(i)}$  слева (при  $r = a - 0$ ) и справа (при  $r = a + 0$ ) от границы  $r=a$ , полученные в первом ( $i = 1$ ), втором ( $i = 2$ ), третьем ( $i = 3$ ) и четвертом ( $i = 4$ ) приближениях.

Как видно из графиков, характер зависимостей  $H_z(z)$  и  $E_\phi(z)$  с ростом приближения довольно существенно изменяется. Особенно это изменение заметно при большом радиусе экрана (рис.4). Точность выполнения граничных условий улучшается с ростом приближения. Однако, если для компоненты  $H_z$  графики распределений в четвертом приближении слева и справа от границы  $r = a$  практически совпадают, то для компоненты  $E_\phi$  еще имеются заметные количественные различия, хотя зависимости  $E_\phi(z)$  имеют одинаковый характер.

Проведенные исследования показали, что алгоритм расчета МДР, построенный на основе МЧО с «вертикальным» разбиением резонансного объема (рис. 1, в) обладает достаточно хорошей сходимостью. Как и следовало ожидать, сходимость зависит от размеров экрана. Существенного влияния формы ДР на сходимость не обнаружено.

Следует отметить, что исследования, результаты которых представлены в настоящей работе, проводились для симметричного магнитного колебания. Значительный теоретический и практический интерес представляет проведение аналогичных исследований для несимметричных колебаний, в частности, для колебаний с большими азимутальными индексами, изучению свойств которых в настоящее время уделяется большое внимание [9]. Проведение комплекса расчетов с применением МЧО для резонаторов с азимутальными колебаниями высокого порядка является задачей дальнейших исследований.

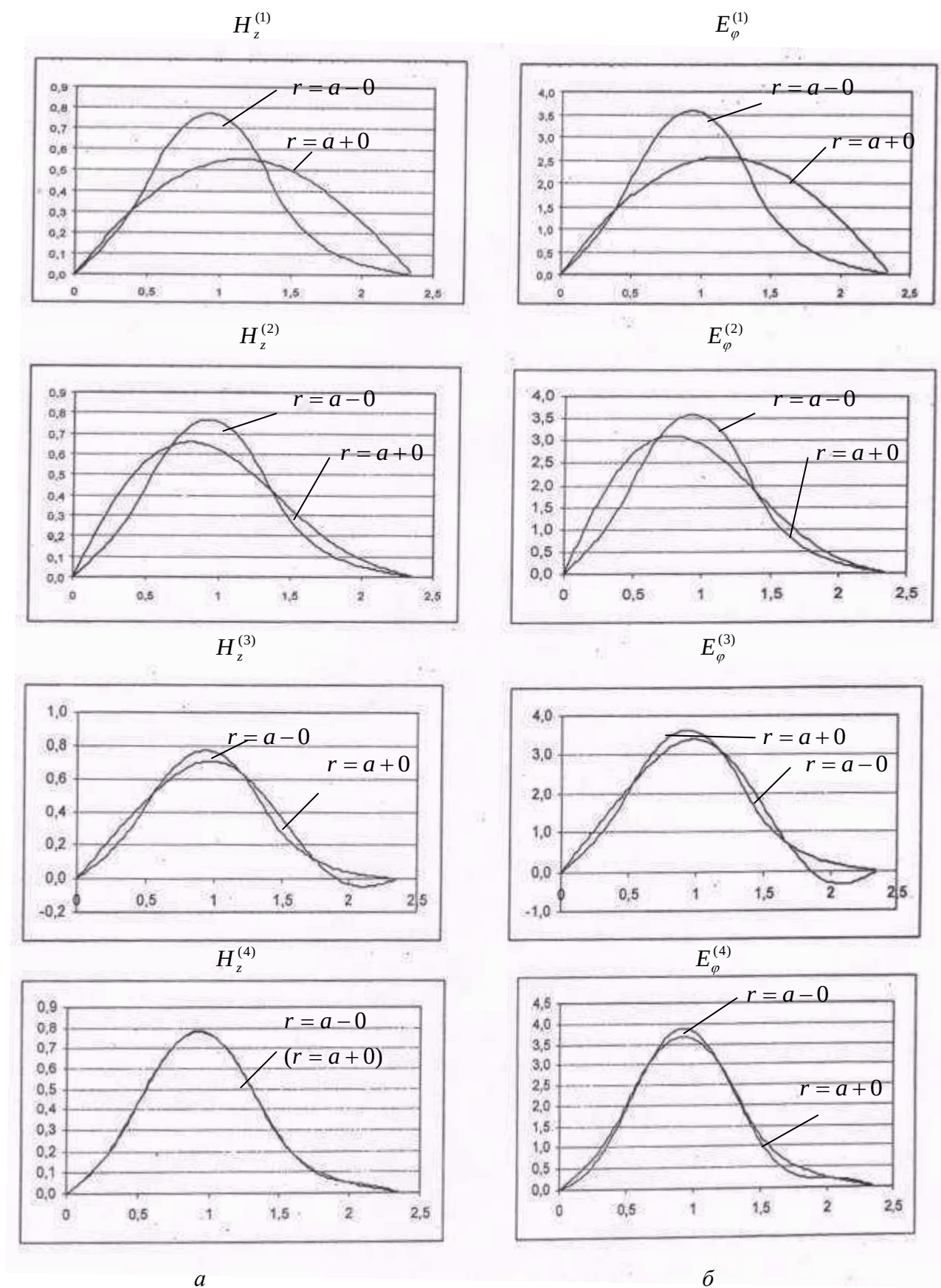


Рис. 3. Графики зависимости от величины  $z/a$  компонент электромагнитного поля в резонаторе на цилиндрической границе  $r=a$  при малом радиусе экрана ( $b/a = 1,2$ )



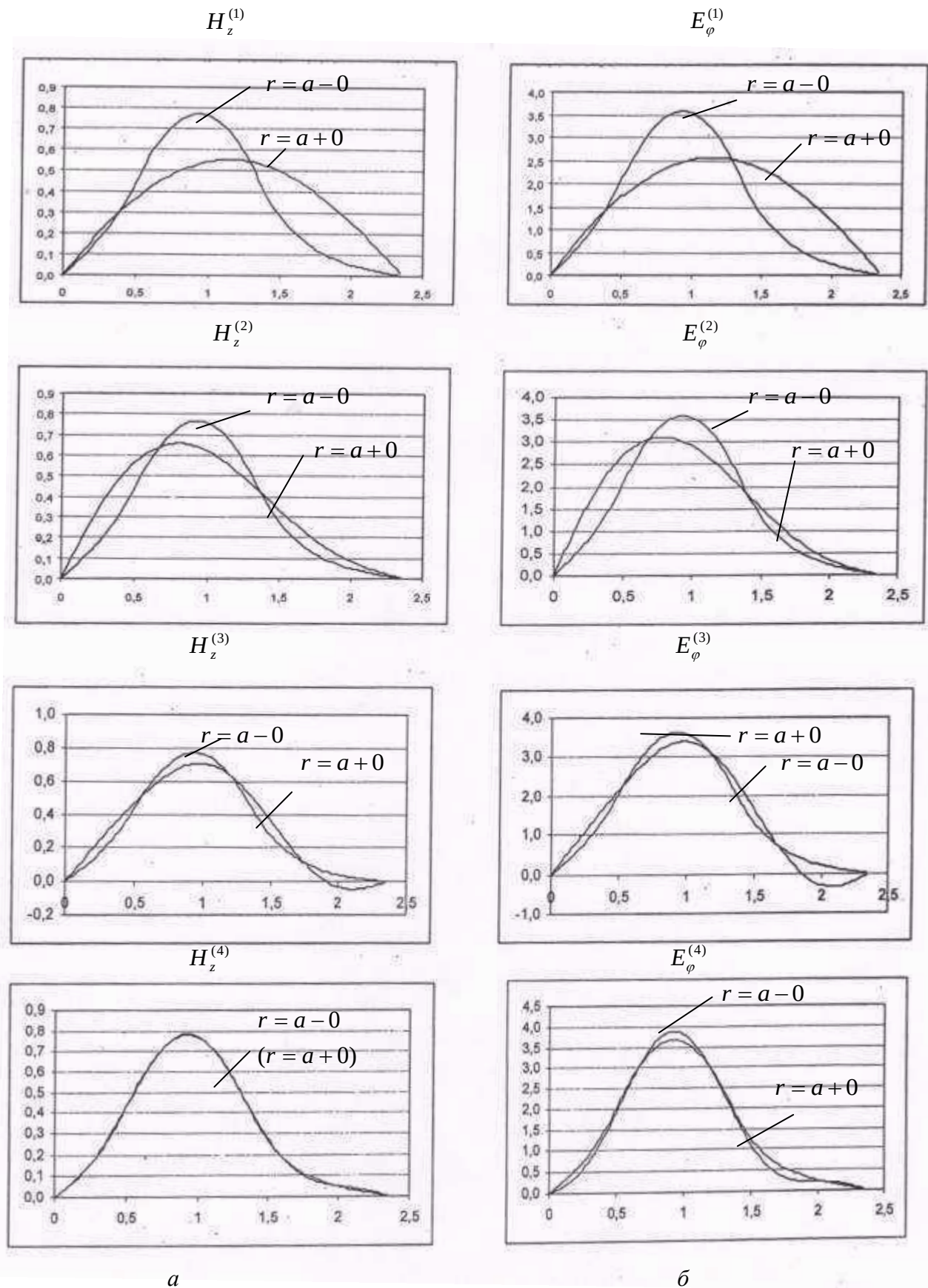


Рис. 4. Графики зависимости от величины  $z/a$  компонент электромагнитного поля в резонаторе на цилиндрической границе  $r = a$  при большом размере экрана ( $b/a = 5,0$ )



## Библиографический список

1. Устройства СВЧ и КВЧ / В.В. Бирюков [и др.]; под ред. Г.И.Шишкова; НГТУ. – Н. Новгород, 2012. – 200 с.
2. Диэлектрические резонаторы / М.Е. Ильченко [и др.]. – М.: Радио и связь, 1989. – 328 с.
3. Белов, Ю.Г. Расчет колебательной системы транзисторного СВЧ-автогенератора, стабилизированного диэлектрическим резонатором // Электромагнитная совместимость: межвуз. темат. сб. научн. трудов / Ю.Г. Белов, А.Г. Марчев – Горький: Изд-во ГТУ, 1987. С. 87–93.
4. Веселов, Г.И. Слоистые метало-диэлектрические волноводы / Г.И. Веселов, С.Б. Раевский – М.: Радио и связь, 1988. – 248 с.
5. Иларионов, Ю.А. Расчет гофрированных и частично заполненных волноводов / Ю.А. Иларионов, В.Я. Сморгонский, С.Б. Раевский. – М.: Сов. Радио, 1980. – 200 с.
6. Егоров, Ю.В. Частично заполненные прямоугольные волноводы / Ю.В. Егоров. – М.: Сов. радио, 1967. – 216 с.
7. Белов, Ю.Г. Исследование экранированного кольцевого диэлектрического резонатора / Ю.Г. Белов, А.С. Когтев // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1991. Т. 34. №1. С. 12–17.
8. Вайнштейн, Л.А. Электромагнитные волны / Л.А. Вайнштейн. – М.: Радио и связь, 1988. – 440 с.
9. Гарин, Б.М. Спектр мод шепчущей галереи с большими азимутальными индексами в тонких дисковых диэлектрических резонаторах / Б.М. Гарин, В.П. Мальцев [и др.] // Радиотехника и электроника. 2008. Т.53. №3. С. 303–310.

Дата поступления  
в редакцию 26.12.2013

V.F. Barinova<sup>1</sup>, Yu.G. Belov<sup>1</sup>, M.Yu. Zvezdova<sup>2</sup>, I.A. Nefed'ev<sup>1</sup>

# THE CONVERGENCE OF ALGORITHM OF CALCULATION OF THE CYLINDRICAL METALDIELECTRIC RESONATOR BY PARTIAL AREAS METHOD

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>,  
JSC «GIPROGAZCENTR»<sup>2</sup>

**Subject:** Cylindrical dielectric resonator located on a dielectric substrate in the cylindrical screen.

**Method:** The electrodynamic analysis based on application of the method of partial areas with splitting of resonant volume on partial areas in the form of pieces of radial layered waveguides.

**Results:** Results of calculation of resonant frequency, quality factor of the resonator and structures of fields of symmetric magnetic fluctuation in the resonator are presented. The convergence of values of resonant frequency and quality factor, and also accuracy of performance of boundary conditions in depending on number of own functions considered in partial areas is investigated.

**Conclusions:** It is shown that internal convergence of settlement algorithm strongly depends on the screen sizes that it is necessary to consider in practice when carrying out calculations of concrete resonant designs.

**Range of application:** Design of SHF devices, oscillators, filters and other electronic devices containing dielectric resonators.

*Key words:* screened dielectric resonator, method of partial areas, resonant frequency, quality factor.

УДК: 537.874

В.В. Зимин

## ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ В НЕИЗОЛИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Дзержинский политехнический институт (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева

Исследованы граничные условия в неизолированной системе на примере углового конденсатора. Проведено сравнение граничных условий в конденсаторе с диэлектриком для случаев фиксированного заряда на обкладках (изолированная система) и фиксированной разности потенциалов на них (неизолированная система). Показано, что в неизолированной системе при введении диэлектрика имеет местонепрерывность нормальной составляющей и разрыв тангенциальной составляющей вектора напряженности электрического поля, увеличение напряженности электрического поля и энергии в ней. Получены аналитические зависимости, описывающие поведение вектора электрического поля на границе раздела двух сред в неизолированной системе и, в частности, особенности преломления электрического поля в такой системе. Доказано значительное увеличение тангенциальной составляющей вектора напряженности электрического поля в неизолированной системе. Наличие в электрическом поле углового конденсатора большой тангенциальной составляющей позволяет использовать такие конденсаторы в широком спектре радиотехнических устройств.

*Ключевые слова:* граничные условия, конденсаторы, электрическое поле, изолированные системы, неизолированные системы, тангенциальная составляющая, нормальная составляющая.

### Введение

Рассмотрение вопросов прохождения волны из одной среды в другую требует использования граничных условий по нормальной и тангенциальной составляющей электрического поля.

Традиционно считается, что на границе раздела двух диэлектриков сохраняется неизменной плотность свободных зарядов, что подразумевает сохранение значения напряженности электрического поля  $E_0 = 4\pi\sigma_0$  [1, 2].

Другими словами, предполагается, что в системе нет источников энергии, которые могли бы внести изменения в эти начальные условия. Система считается изолированной от внешних влияний.

Однако имеются практические случаи, когда в системе появляется внешний источник энергии, что приводит к изменению граничных условий в системе. Граничные условия, которые были выведены для изолированных систем, в новой постановке прохождения электромагнитной волны через границу двух сред не работают.

Простейшим примером неизолированной системы может служить конденсатор, на котором от внешнего источника поддерживается напряжение, которое было на нём до введения в воздушный зазор диэлектрика. В такой среде поведение нормальной и тангенциальной составляющей вектора электрического поля после преломления не могут описываться стандартными граничными условиями.

Учет этих обстоятельств открывает новые перспективы применения неизолированных систем.

### Граничные условия в конденсаторе

Пусть мы имеем плоский конденсатор емкостью  $C_0$  с воздушным промежутком между обкладками ( $\epsilon_0 = 1$ ), зарядом  $Q_0$ , напряжением  $u_0$ , расстоянием между обкладками  $d$  и электрическим полем  $E_0 = \frac{u_0}{d}$ .

Поместим между обкладками конденсатора диэлектрик с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_1$  и рассмотрим, как изменится электрическое поле в конденсаторе при внесении диэлектрика. Рассмотрение будем проводить для двух случаев:

- зафиксируем заряд  $Q$  на обкладках конденсатора (обкладки конденсатора отключены от источника напряжения);
- зафиксируем напряжение  $u$  на емкости (обкладки конденсатора подключены к источнику напряжения).

1. *Зафиксируем заряд  $Q$  на обкладках конденсатора (обкладки конденсатора отключены от источника напряжения).*

Известно, что при введении в конденсатор диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_1$  его емкость увеличивается также в  $\varepsilon_1$  раз [1]. Следовательно, емкость конденсатора с диэлектриком становится равной  $C_1 = \varepsilon_1 C_0$ . Но, с другой стороны,  $C = \frac{Q}{u}$  и, если мы будем поддерживать постоянным заряд на конденсаторе, то увеличение емкости может произойти только за счет уменьшения в  $\varepsilon_1$  раз напряжения на нем, т.е.  $u_1 = \frac{u_0}{\varepsilon_1}$ . Электрическое

поле в конденсаторе  $E_1 = \frac{u_1}{d} = \frac{E_0}{\varepsilon_1}$  при этом уменьшится в  $\varepsilon_1$  раз.

В общем случае, напряженность поля в однородном диэлектрике *при условии неизменности свободных зарядов на нём* в  $\varepsilon$  раз меньше напряженности поля тех же зарядов в пустоте.

Теоретическое рассмотрение вопросов непрерывности линий вектора индукции приводит к выводу, что на границе раздела двух диэлектриков с диэлектрическими постоянными  $\varepsilon_0$  и  $\varepsilon_1$  линии напряженности электрического поля будут иметь разрыв, причем разрыв терпит нормальная составляющая электрического поля, поскольку электрическое поле внутри конденсатора уменьшается в  $\varepsilon_1$  раз. Непрерывность сохраняет тангенциальная составляющая электрического поля, поэтому  $\frac{E_{1t}}{E_{0t}} = 1$ .

Выражение для нормальной составляющей вектора электрического поля на границе раздела двух сред *при неизменности свободных зарядов в диэлектрике* определяется следующим соотношением:

$$\varepsilon_0 E_{0n} = \varepsilon_1 E_{1n}. \quad (1)$$

2. *Зафиксируем напряжение  $u_1$  на емкости (обкладки конденсатора подключены к источнику напряжения).*

Рассуждая аналогичным образом, нетрудно заметить, что увеличение емкости конденсатора в  $\varepsilon_1$  раз при выполнении условия *неизменности напряжения на конденсаторе при введении диэлектрика*  $u_1 = u_0$  возможно только при возрастании в  $\varepsilon_1$  раз заряда  $Q_0$  на пластинах конденсатора за счет энергии внешнего источника питания ( $Q_1 = \varepsilon_1 Q_0$ ).

При этом напряженность электрического поля в конденсаторе с диэлектриком ( $\varepsilon_1 > 1$ ) будет совпадать с полем конденсатора с воздушным промежутком ( $\varepsilon_0 = 1$ ). Действи-

тельно,  $E_{0n} = \frac{u_0}{d}$ , а  $E_{1n} = \frac{u_1}{d}$ . Однако  $u_0 = u_1$ , следовательно,

$$E_{1n} = \frac{u_1}{d} = \frac{u_0}{d} = E_{0n}. \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что на границе раздела двух сред с диэлектрическими постоянными  $\varepsilon_0$  и  $\varepsilon_1$  *при неизменности напряжения на конденсаторе после введения диэлектрика*  $u_1 = u_0$ , то есть увеличении свободных зарядов в  $\varepsilon_1$  раз, нормальные составляющие электрического поля разрыва не имеют.

В данном режиме работы конденсатора сохраняется непрерывность нормальной составляющей вектора электрического поля

$$E_{0n} = E_{1n}. \quad (3)$$

Выражение для вектора напряженности электрического поля в конденсаторе  $E = \frac{u}{d}$  справедливо для любого конденсатора как с воздушным промежутком, так и с любым другим диэлектриком.

При неизменности напряжения на конденсаторе после введения диэлектрика, т.е. при  $u_1 = u_0$ , нормальная составляющая вектора электрического поля не меняется и совпадает с нормальной составляющей вектора электрического поля в этом конденсаторе с воздушным промежутком.

### Вектор напряженности электрического поля в конденсаторе с диэлектриком

Известно, что при введении в конденсатор диэлектрика энергия конденсатора увеличивается. Энергия конденсатора – это энергия электрического поля. Для того чтобы энергия конденсатора возросла, необходимо увеличивать напряженность электрического поля в нем.

Энергия конденсатора  $W$  определяется соотношением [1]:

$$W = \frac{1}{2} Qu, \quad (4)$$

где  $Q$  – заряд на пластинах конденсатора;  $u$  – разность потенциалов на его пластинах.

Если напряжение на конденсаторе после введения диэлектрика поддерживается постоянным, то  $Q_1 = \varepsilon_1 Q_0$ , поскольку  $u_1 = u_0$ . Следовательно, энергия конденсатора при заполнении его диэлектриком возрастает в  $\varepsilon_1$  раз:

$$W_1 = \frac{1}{2} \varepsilon_1 Q_0 u_0 = \varepsilon_1 W_0 \quad (5)$$

Увеличение энергии конденсатора обусловлено действием внешнего источника, поддерживающего неизменной разность потенциалов на обкладках при введении диэлектрика.

После несложных преобразований выражение для энергии конденсатора можно записать в следующем виде:

$$W_1 = \frac{1}{2} Q_1 u_1 = \frac{\varepsilon_1}{8\pi} E_0^2 S d = \varepsilon_1 W_0. \quad (6)$$

где  $S$  – площадь поверхности конденсатора;  $d$  – расстояние между обкладками.

Сравнение выражений для конденсатора с воздушным промежутком и диэлектриком (6) позволяет утверждать, что вектор напряженности электрического поля  $\vec{E}_1$  в конденсаторе с диэлектриком при выполнении условия  $u_1 = u_0$  будет равен

$$\vec{E}_1 = \sqrt{\varepsilon_1} \vec{E}_0. \quad (7)$$

### Тангенциальная составляющая вектора напряженности электрического поля в угловом конденсаторе с диэлектриком

Из выражения (7) следует, что в конденсаторе с диэлектриком увеличивается величина напряженности электрического поля. Ранее было показано, что на границе раздела двух сред при фиксированной разности потенциалов на обкладках конденсатора должна сохраняться нормальная составляющая электрического поля  $E_{0n} = E_{1n}$ .

Поэтому можно утверждать, что в такой системе будет увеличиваться тангенциальная составляющая электрического поля. Поле внутри конденсатора с диэлектриком при поддержании неизменной разности потенциалов на обкладках при введении диэлектрика увеличивается в  $\sqrt{\varepsilon_1}$  раз, хотя нормальная составляющая поля при этом остается неизменной.

Найдем связь  $\frac{E_{1t}}{E_{0t}} = f(\varepsilon_1, \varphi)$  между тангенциальными составляющими полей в уг-

ловом конденсаторе с воздушным промежутком и в конденсаторе с диэлектриком как функции диэлектрической проницаемости заполнения  $\varepsilon_1$  и угла падения  $\varphi$  вектора напряженности электрического поля относительно нормали к плоскости, симметричной пластинам углового конденсатора.

Чтобы обеспечить отклонение вектора электрического поля от нормали к поверхности пластин конденсатора, выполним пластины под углом  $\varphi$  друг к другу. Поскольку вектор электрического поля выходит по нормали к поверхности обкладки, то угол  $\varphi$  показывает отклонение угла падения вектора электрического поля относительно нормали к плоскости, симметричной пластинам конденсатора.

На рис. 1  $\varphi$  – угол падения вектора электрического поля  $\vec{E}_0$  в угловом конденсаторе с воздушным промежутком, а  $\theta$  – угол вектора электрического поля  $\vec{E}_1$  в угловом конденсаторе с диэлектриком.

Угол отклонения пластин конденсатора  $\varphi$  невелик, и поэтому тангенциальная составляющая вектора напряженности электрического поля в конденсаторе с воздушным промежутком  $E_{0t}$  также весьма мала. Однако для удобства изображения на рис.1 угол  $\varphi$  выбран большим.

Для изолированных систем работает закон преломления Снеллиуса, связывающий угол падения падающей волны с углом преломленной (прошедшей) волны в зависимости от отношения диэлектрических проницаемостей сред [3, 4].

В соответствии с этим законом, угол  $\theta$  будет меньше, чем  $\varphi$ , если диэлектрическая проницаемость второй среды больше, чем первой. Для неизолированной системы результаты будут другими.

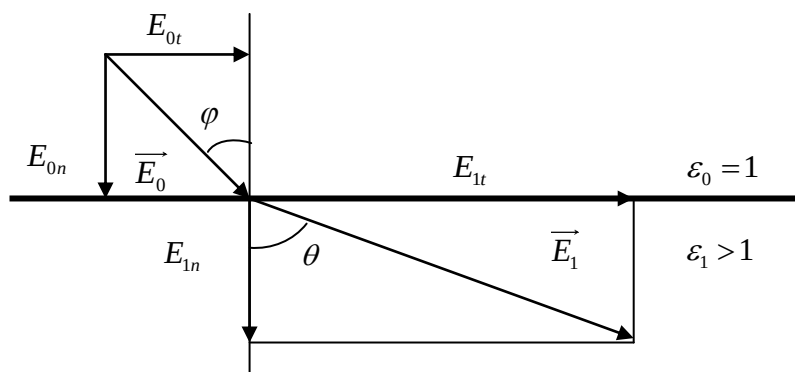


Рис. 1 Преломление волны в неизолированной системе

Учитывая равенство нормальных составляющих электрического поля в угловых конденсаторах с воздушным промежутком и диэлектриком  $E_{0n} = E_{1n}$  и рис. 1, можно написать несколько равенств, связывающих значения полей, углы и диэлектрическую проницаемость диэлектрика.

$$\frac{E_{0t}}{E_0} = \sin \varphi \quad (8)$$

$$\frac{E_{0n}}{E_0} = \cos \varphi \quad (9)$$

$$\frac{E_{1t}}{\sqrt{\varepsilon_1} E_0} = \sin \theta \quad (10)$$

$$\frac{E_{0n}}{E_0 \sqrt{\varepsilon_1}} = \cos \theta \quad (11)$$

Поле несложных преобразований из (8) и (10) получаем

$$\frac{E_{1t}}{E_{0t}} = \sqrt{\varepsilon_1} \frac{\sin \theta}{\sin \varphi} = \frac{\tan \theta}{\tan \varphi}. \quad (12)$$

Аналогично, используя выражения (9) и (11), можно записать

$$\frac{\cos \varphi}{\cos \theta} = \sqrt{\varepsilon_1}. \quad (13)$$

Равенство (13) является аналогом закона Снеллиуса для неизолированных систем, где одна среда представляет собой воздух ( $\varepsilon_0 = 1$ ). Выражение показывает, как связан угол падения  $\varphi$  вектора электрического поля  $\vec{E}_0$  в конденсаторе с воздушным промежутком с углом преломления  $\theta$  вектора  $\vec{E}_1$  в конденсаторе с диэлектриком.

Вектор электрического поля  $\vec{E}_1$  имеет составляющую вдоль диэлектрика, заполняющего конденсатор. Величина этой составляющей зависит от диэлектрической проницаемости заполнения и будет тем больше, чем больше  $\varepsilon_1$ . Для выполнения условия (13) угол  $\theta$  должен быть намного больше угла  $\varphi$ .

Поскольку угол  $\varphi < \theta$ , то из выражения (12) следует, что  $\frac{E_{1t}}{E_{0t}} > 1$ . Тангенциальная составляющая вектора напряженности электрического поля в угловом конденсаторе с диэлектриком больше, чем в угловом конденсаторе с воздушным промежутком.

Если в равенстве (12) угол  $\theta$  выразить через  $\varphi$ , то получим следующее соотношение:

$$\frac{E_{1t}}{E_{0t}} = \frac{\sqrt{\varepsilon_1 - \cos^2 \varphi}}{\sin \varphi}. \quad (14)$$

Тангенциальная составляющая вектора электрического поля в конденсаторе с диэлектриком  $E_{1t}$  больше, чем в конденсаторе с воздушным промежутком.

Найдем отношение тангенциальной составляющей вектора электрического поля к значению электрического поля в конденсаторе с воздушным промежутком в зависимости от значений угла раскрыва конденсатора  $\varphi$  и диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_1$ . Из выражений (10) и (13) находим

$$\frac{E_{1t}}{E_0} = \sqrt{\varepsilon_1 - \cos^2 \varphi}. \quad (15)$$

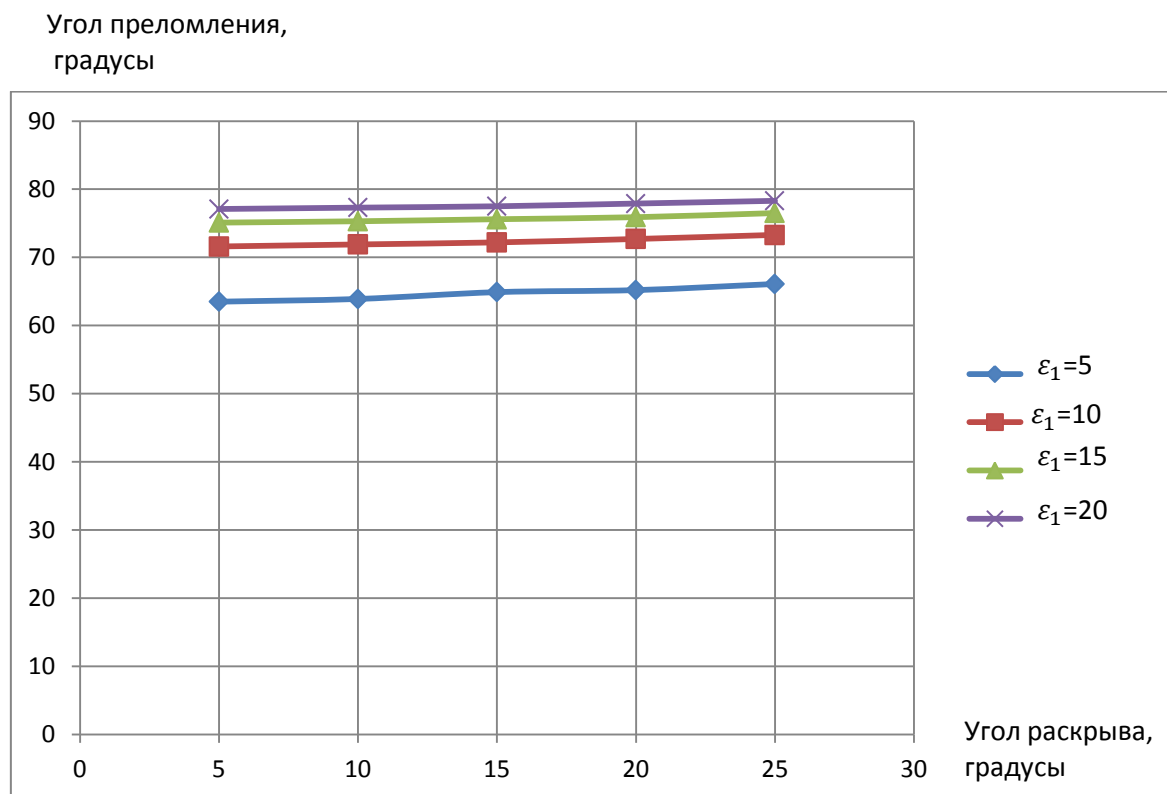
Если конденсатор плоский, т.е. угол раскрыва равен нулю, а внутри конденсатора находится воздух, то тангенциальная составляющая вектора электрического поля становится равной нулю.

Если диэлектрическая проницаемость среды внутри конденсатора больше единицы, то тангенциальная составляющая электрического поля в угловом конденсаторе с диэлектриком, как это следует из выражения (15), может значительно превышать величину электрического поля в конденсаторе, где в качестве диэлектрика используется воздух.

Представляет интерес геометрическая иллюстрация зависимости угла наклона вектора электрического поля  $\theta$  в угловом конденсаторе с диэлектриком в зависимости от угла раскрыва конденсатора  $\varphi$ .

На рис. 2 представлена зависимость  $\theta(\varphi)$  для различных значений диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_1$ , выполненная по формуле (13).

Как видно из рис. 2, зависимость угла преломления от угла раскрыва конденсатора весьма слабая. Значительно большее влияние оказывает диэлектрическая проницаемость заполнения углового конденсатора.



**Рис. 2 Угол преломления вектора напряженности электрического поля в угловом конденсаторе с диэлектриком**

При малых значениях  $\varphi$  угол преломления  $\theta$  может возрасти в 12–15 раз, становясь близким к  $90^\circ$ . Появляется составляющая поля вдоль пластин конденсатора.

Тангенциальная составляющая вектора напряженности электрического поля сильно возрастает. Поле вытягивается в сторону расширяющейся части углового конденсатора. Электрическое поле становится неоднородным.

### Выводы

Теоретическое исследование работы углового конденсатора позволило выяснить особенности граничных условий в неизолированных системах.

При изучении вопросов прохождения, преломления и отражения электромагнитных волн на границе раздела двух сред предполагается отсутствие источников энергии в системе. [1, 2]. Вопросы эти хорошо изучены и описываются законом Снеллиуса.

Однако могут быть случаи, когда в системе появляется внешний источник энергии, что приводит к изменению граничных условий в системе. В частности, изменяется преломление электромагнитной волны на границе раздела двух сред.

В работе проведено исследование вопросов преломления в неизолированной системе и получены аналитические зависимости, описывающие поведение электрической волны на границе раздела двух сред.

Показано, что в неизолированной системе имеют место увеличение электрического поля и энергии при введении диэлектрика, сохранение нормальной составляющей и разрыв тангенциальной составляющей электрического поля.

Тангенциальная составляющая вектора электрического поля значительно возрастает.

С точки зрения применения полученных результатов, возрастание тангенциальной составляющей вектора электрического поля в угловом конденсаторе с диэлектриком позволяет использовать такие конденсаторы в широком спектре радиотехнических устройств.

**Библиографический список**

1. **Фриш, С. Э.** Курс общей физики. Т. 2. Электрические и электромагнитные явления / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. – 11-е изд. – СПб.: Изд-во «Лань», 2007. – 528 с.
2. **Литвинов, О.С.** Электромагнитные волны и оптика / О.С. Литвинов, В.С. Горелик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 448 с.
3. **Марков, Г.Т.** Электродинамика и распространение радиоволн / Г.Т. Марков, Б.М. Петров, Г.П. Грудинская. – М.: Советское радио, 1979. – 376 с.
4. **Грудинская, Г.П.** Распространение радиоволн / Г.П. Грудинская. – М.: Высш. шк., 1975. – 280 с.

*Дата поступления  
в редакцию 04.02.2014*

**V.V. Zimin**

**BOUNDARY CONDITIONS IN NOT ISOLATED SYSTEMS**

Dzerzhinsk polytechnical institute NGTU n.a. R.E. Alexeev,  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Boundary conditions in not isolated system are investigated by the example of the angular condenser. Comparison of boundary conditions in the condenser with диэлектриком for cases of the fixed charge on facings (isolated system) and the fixed potential difference on them (not isolated system) is lead. It is shown, that in not isolated system at introduction isolator the continuity of a normal component and break of a tangential component of a vector of intensity of an electric field, increase in intensity of an electric field and energy in it takes place. The analytical dependences describing behaviour of a vector of an electric field on border of the unit of two environments in not isolated system and, in particular, of feature of refraction of an electric field in such system are received. Substantial growth of a tangential component of a vector of intensity of an electric field in not isolated system is proved. Presence in an electric field of the angular condenser of the big tangential component allows to use such condensers in a wide spectrum of radio engineering devices.

*Key words:* boundary conditions, condensers, the electric field, the isolated systems, not isolated systems, a tangential component, a normal component.



УДК 621.396.96

А.Н. Ковалев, Ф.Н. Ковалев

## АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЦЕЛИ В ПРОСВЕТНОМ РАДИОЛОКАТОРЕ С РАЗНЕСЕННЫМ ПРИЕМОМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Цель:** Разработка алгоритма определения координат цели в просветном радиолокаторе с одним передатчиком и двумя синхронизированными по времени приемниками. Сопутствующей целью является разработка методики определения координат неманеврирующего объекта по предварительно найденным параметрам его траектории.

**Методология / подход:** Используемые в алгоритме соотношения получены исходя из геометрических особенностей просветной радиолокационной системы и характера движения типичных целей. Работоспособность алгоритма и основные выводы подтверждены численными экспериментами.

**Результаты:** Предложен алгоритм определения траекторных параметров и координат цели по измерениям доплеровских частот в двух разнесенных приемниках просветной радиолокационной системы. Основой алгоритма являются аппроксимация измерений доплеровских частот, расчет угловой скорости по разности частот, вычисление моментов времени пресечения целью отрезков между передатчиком и приемниками по аппроксимированным зависимостям и приближенные геометрические соотношения, полученные для схемы просветного радиолокатора. Проведено исследование точности определения координат на математической модели.

На предлагаемом алгоритме опробована новая методика оценки координат в просветных системах с предварительным вычислением траекторных параметров.

**Применение:** Просветная радиолокация.

**Оригинальность / значение:** Предложенный алгоритм упрощает местоопределение в просветных многопозиционных радиолокаторах с измерениями доплеровских частот рассеянного сигнала в разнесенных приемниках. Последовательность основных действий алгоритма можно рекомендовать для обработки измерений в других типах просветных систем с монохроматическим излучением, в том числе в бистатических радиолокаторах.

*Ключевые слова:* просветная радиолокация, многопозиционная радиолокационная система, доплеровская частота, аппроксимация измерений доплеровской частоты, угловая скорость, момент пересечения объектом отрезка между приемником и передатчиком, параметры траектории.

Просветные радиолокационные системы (РЛС) основаны на повышенной интенсивности излучения, рассеянного на цели в область ее тени, и являются эффективным средством обнаружения малоразмерных, а также низколетящих объектов [1–4].

В просветных РЛС с монохроматическим передатчиком оценку координат цели можно произвести по измерениям доплеровских частот в синхронизированных по времени разнесенных приемниках [5]. Задача местоопределения упрощается, если по частотным измерениям предварительно находить угловые координаты либо угловую скорость цели [6–9].

В настоящей работе предлагается и исследуется алгоритм определения траекторных параметров и координат цели в просветных РЛС с предварительным вычислением угловой скорости по разности доплеровских частот сигнала в разнесенных приемниках и оценкой моментов времени пересечения целью отрезков между передатчиком и приемниками.

На рис. 1 изображена схема простейшей просветной двухкоординатной многопозиционной радиолокационной системы, состоящей из одного передатчика и двух приемников. Элементы РЛС расположены в плоскости  $xOy$ : приемники размещены на оси  $Oy$  на равном удалении  $b/2$  от начала системы координат (точки  $O$ ), передатчик (П) находится на оси  $Ox$  на расстоянии  $a$  от точки  $O$ ,  $a \gg b$ . Цель движется со скоростью  $\vec{v}$  в плоскости  $xOy$ , пересекая ось  $Ox$  под углом  $\psi$  в точке  $(s, 0)$  в момент времени  $\tau$ . На рис. 1 обозначено:  $r_n$  – расстояние от передатчика до цели,  $r_{np1}$ ,  $r_{np2}$  – расстояния от приемников  $Pr_1$ ,  $Pr_2$  до цели,  $\varphi$  – угол, характеризующий направление на цель из начала системы координат относительно оси  $Ox$ ,  $\beta$  – угол между направлениями на приемники из пункта расположения передатчика,  $h$  –

длина проекции на ось  $Oy$  участка траектории цели между отрезками  $[П, Пр_1]$  и  $[П, Пр_2]$ , соединяющими пункты расположения передатчика и приемников. Определение координат цели осуществляется при ее одновременном наблюдении в приемниках и на небольших удалениях от оси  $Ox$ :  $|y| \ll s$ ,  $|y| \ll (a-s)$  – зона действия системы представляет собой узкую, вытянутую вдоль оси  $Ox$ , область.

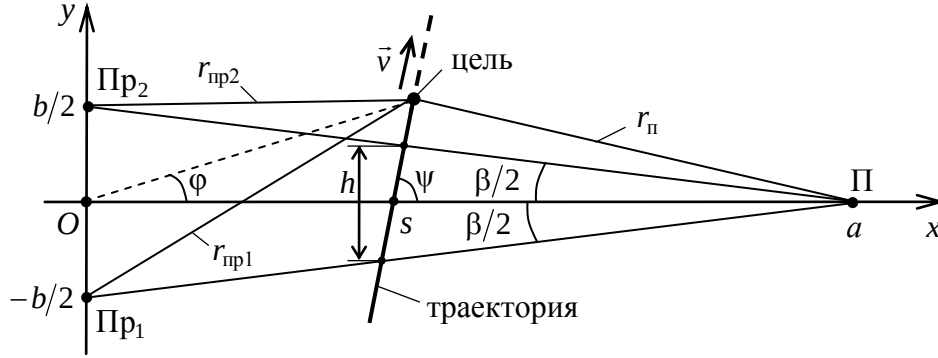


Рис. 1. Схема просветной РЛС с разнесенным приемом

Доплеровские частоты рассеянного на лоцируемом объекте сигнала в приемных пунктах  $Пр_1$ ,  $Пр_2$  выражаются в виде

$$f_1(t) = -\frac{1}{\lambda} \frac{dl_1(t)}{dt}, \quad (1)$$

$$f_2(t) = -\frac{1}{\lambda} \frac{dl_2(t)}{dt}, \quad (2)$$

где  $l_1(t) = r_n(t) + r_{пр1}(t)$ ,  $l_2(t) = r_n(t) + r_{пр2}(t)$ ;  $t$  – время;  $\lambda$  – длина волны излучения передатчика.

Если расстояния  $r_{пр1}$ ,  $r_{пр2}$  намного превосходят величину  $b$  разнесения приемников, то разность доплеровских частот (1), (2) пропорциональна угловой скорости объекта [8,9]:

$$\Delta f(t) = f_1(t) - f_2(t) = -\frac{1}{\lambda} \frac{d\Delta r(t)}{dt} \approx -\frac{b}{\lambda} \omega(t), \quad (3)$$

где  $\Delta r(t) = r_{пр1}(t) - r_{пр2}(t)$ ,  $\omega(t) = d\varphi(t)/dt$  – угловая скорость.

Вследствие узости зоны действия, в просветных системах обычно рассматривают движение цели с постоянной скоростью  $\vec{v}$ . Более того, в основе расчетов характеристик сигнала и координат лежит модель движения с углами  $\psi$ , близкими к  $90^\circ$  [4,10]. При равномерном прямолинейном движении текущие координаты цели можно представить следующим образом:

$$x(t) = s + v_x(t - \tau), \quad (4)$$

$$y(t) = v_y(t - \tau), \quad (5)$$

где  $v_x = v \cos \psi$ ,  $v_y = v \sin \psi$ ,  $v = |\vec{v}|$  – величина скорости. То есть координаты выражаются через параметры траектории  $\tau$ ,  $s$ ,  $v$ ,  $\psi$  или, что равнозначно,  $\tau$ ,  $s$ ,  $v_y$ ,  $v_x$ . Это позволяет задачу нахождения координат перевести в плоскость поиска траекторных параметров: определение параметров ведет и к определению текущих координат цели (4), (5).

В случае  $\psi \approx 90^\circ$  компонента скорости  $v_x \approx 0$ , и основными параметрами задающими изменение координат являются  $\tau$ ,  $s$ ,  $v_y$ , при этом

$$x(t) \approx s. \quad (6)$$

При равномерном движении цели ортогонально оси  $Ox$  проявляются важные свойства доплеровских частот  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  и их разности  $\Delta f(t)$  (3).

Во-первых, зависимости  $f_1(t)$  и  $f_2(t)$  становятся близкими к линейным [5,6]. Это дает возможность аппроксимировать их полиномами первой степени:

$$f_1^a(t) = c_{01} + c_{11}t, \quad f_2^a(t) = c_{02} + c_{12}t. \quad (7)$$

Коэффициенты  $c_{0j}$ ,  $c_{1j}$ ,  $j = \overline{1,2}$  рассчитываются по критерию наименьших квадратов по нескольким последовательным оценкам доплеровской частоты в каждом из приемников. Коэффициенты  $c_{11}$  и  $c_{12}$  имеют смысл скорости изменения соответствующей доплеровской частоты.

Аппроксимирующие полиномы (7) можно использовать для повышения точности оценок частоты. Также с их помощью удобно определять моменты пересечения целью отрезков  $[П, Пр_1]$  и  $[П, Пр_2]$  [11]. В эти моменты

$$f_1(\tau_1) = 0, \quad f_2(\tau_2) = 0,$$

и их можно оценить из (7) по формулам

$$\tau_1 = -\frac{c_{01}}{c_{11}}, \quad \tau_2 = -\frac{c_{02}}{c_{12}}, \quad (8)$$

где  $\tau_1$  – момент пресечения целью отрезка  $[П, Пр_1]$ ;  $\tau_2$  – отрезка  $[П, Пр_2]$ .

Во-вторых, зависимости  $\Delta f(t)$  и  $\omega(t)$  меняются во времени слабо. Действительно, поскольку

$$\varphi(t) = \arctg \frac{y(t)}{x(t)} \approx \frac{v_y(t - \tau)}{s}$$

является квазилинейной функцией времени, то

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} \approx \frac{v_y}{s} = \text{const}, \quad (9)$$

и, согласно (3),

$$\Delta f(t) \approx \text{const}.$$

Полагая  $\Delta f$  неизменной, оценку  $\omega$  можно вычислять уже вначале наблюдения. Для снижения погрешностей измерений угловую скорость  $\omega$  целесообразно находить по разности полиномов (7) либо аппроксимировать непосредственно разность частот  $\Delta f(t)$ . В последнем случае достаточно взять полином нулевого порядка, т.е. аппроксимированное значение  $\Delta f$  находить как среднее арифметическое нескольких оценок разности частот.

Полученные значения  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  и  $\omega$  позволяют определить искомые траекторные параметры  $\tau$ ,  $s$ ,  $v_y$ . Величину  $\tau$  удобно вычислять как среднее арифметическое от  $\tau_1$  и  $\tau_2$ :

$$\tau = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}. \quad (10)$$

Два других параметра находятся из системы уравнений

$$\omega = \frac{v_y}{s}, \quad (11)$$

$$v_y = \frac{h}{(\tau_2 - \tau_1)}, \quad (12)$$

$$h = 2(a-s)\operatorname{tg}(\beta/2). \quad (13)$$

Уравнения (11), (12) отражают кинематику принятой модели движения; уравнение (13) является свойством прямоугольного треугольника с катетами, имеющими длины  $h/2$  и  $(a-s)$  (см. рис. 1). Решение системы (11) – (13) приводит к следующим формулам расчета траекторных параметров:

$$s = \frac{2a \operatorname{tg}(\beta/2)}{\omega(\tau_2 - \tau_1) + 2 \operatorname{tg}(\beta/2)} = \frac{b}{\omega(\tau_2 - \tau_1) + 2 \operatorname{tg}(\beta/2)}, \quad (14)$$

$$v_y = \omega s \quad \text{или} \quad v_y = \frac{\omega b}{\omega(\tau_2 - \tau_1) + 2 \operatorname{tg}(\beta/2)}. \quad (15)$$

Возможность оценивания траекторных параметров и координат цели по изложенному алгоритму (7)–(15) исследовалась методом математического моделирования. Рассматривалась модель одновременных измерений доплеровских частот в приемниках, выполняемых с интервалом времени  $T$ . Ошибки измерений – независимые, распределенные по нормальному закону, дисперсия ошибок  $\sigma_f^2$  со временем не меняется, смещение оценок частот отсутствует.

На рис. 2 и рис. 3 в качестве примера представлены вычисленные по результатам 1000 независимых численных экспериментов математическое ожидание  $m_s$  (штриховые линии) и среднеквадратичное отклонение  $\sigma_s$  (пунктирные линии) ошибки определения траекторного параметра  $s$  в зависимости от времени  $t$  наблюдения за целью. Штрихпунктирными линиями показаны графики полной ошибки  $\varepsilon_s = \sqrt{m_s^2 + \sigma_s^2}$ .

Были приняты следующие параметры системы:  $a = 40$  км,  $b = 300$  м,  $\lambda = 1$  м,  $\sigma_f = 0,2$  Гц,  $T = 1$  с. Цель двигалась со скоростью  $v = 200$  м/с под углом  $\psi = 90^\circ$  и пресекала ось  $Ox$  в точке с абсциссой  $s = 15$  км (рис. 2),  $s = 30$  км (рис. 3). Обе траектории показаны на рис. 4 штрихом. Зона действия РЛС имела условные границы  $y = \pm 3$  км. Наблюдение за целью начиналось в момент  $t = 0$ , когда ее ордината принимала значение  $y = -3$  км, так что момент пересечения целью оси  $Ox$  составлял  $\tau = 15$  с.

Момент начала наблюдения совпадал с моментом первого измерения доплеровских частот в приемниках. Время наблюдения и число  $n$  пар измерений связаны равенством  $t = (n-1)T$  или  $n = 1 + t/T$ .

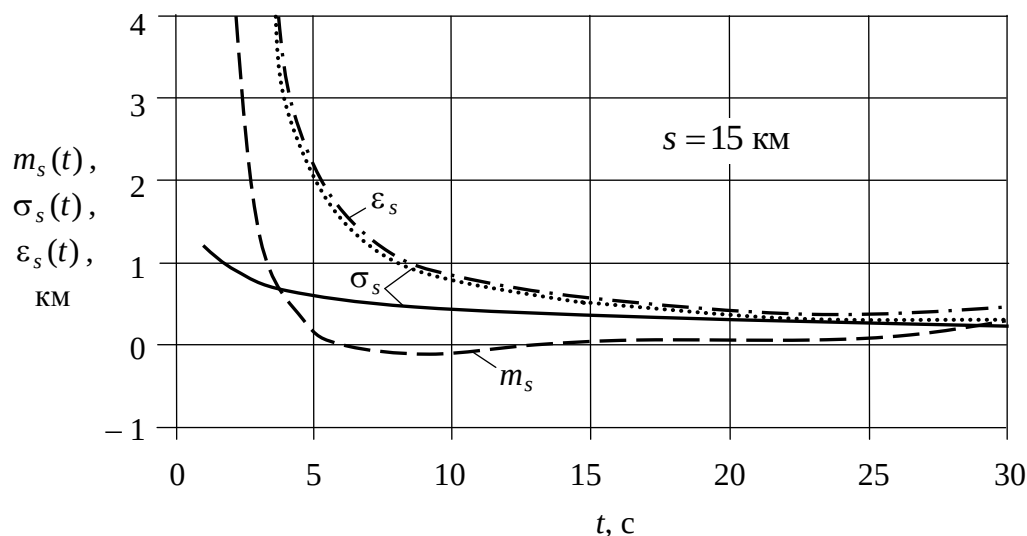


Рис. 2. Зависимость точности определения параметра  $s$  от времени наблюдения  $t$  для траектории с  $\psi = 90^\circ$ ,  $s = 15$  км

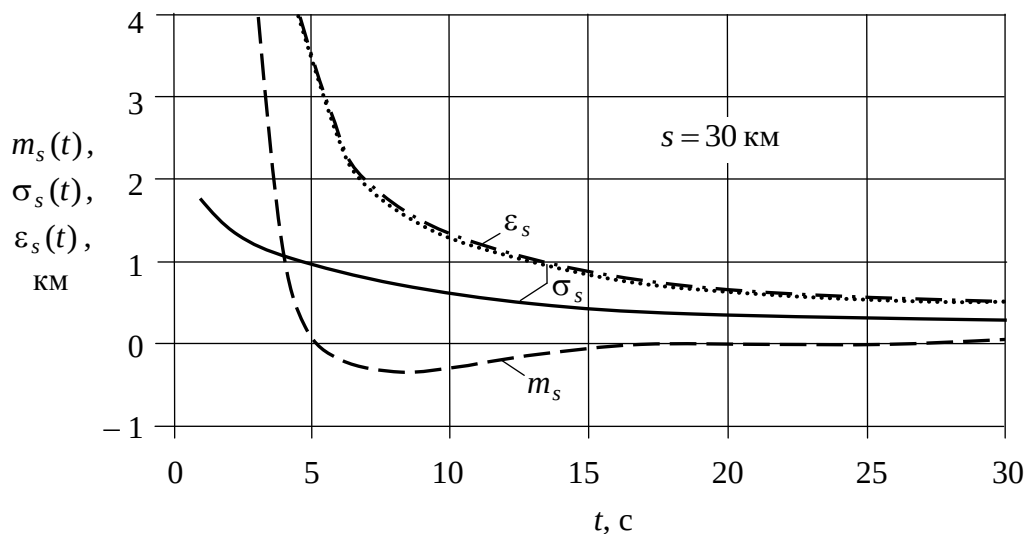


Рис. 3. Зависимость точности определения параметра  $s$  от времени наблюдения  $t$  для траектории с  $\psi = 90^\circ$ ,  $s = 30$  км

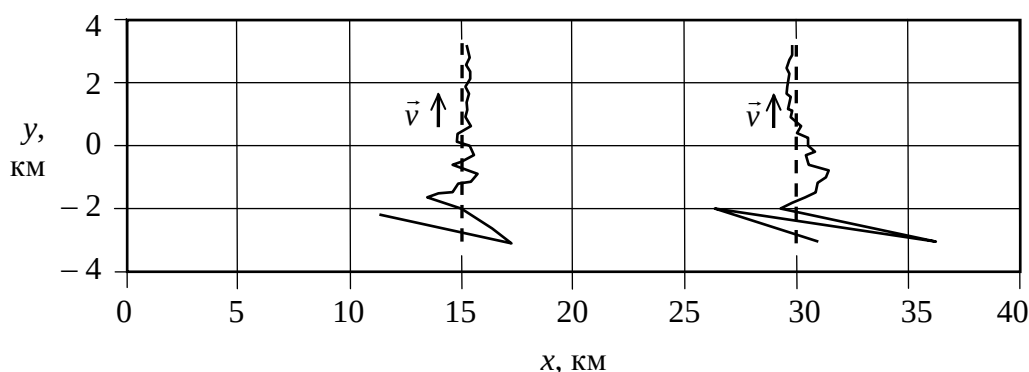


Рис. 4. Результаты экспериментов по определению местоположения цели

Для расчета коэффициентов  $c_{0j}$ ,  $c_{1j}$  полиномов (7) по критерию наименьших квадратов использовалось по  $N = 10$  последних на текущий момент  $t$  измерений доплеровской частоты в каждом из приемников ( $j = \overline{1,2}$ ). В начале наблюдения до момента  $t < (N-1)T$ , то есть когда  $n < N$ , аппроксимация проводилась по всем имеющимся измерениям.

Моменты  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  определялись по (8). После пересечения целью отрезков  $[П, Пр_1]$  и  $[П, Пр_2]$  их значения фиксировались и далее были неизменны. Величина угловой скорости определялась по разности аппроксимированных функций (7) на протяжении всего времени наблюдения в центре интервала аппроксимации – в момент  $(t - (N-1)T/2)$ .

Использование для аппроксимации большего, чем 10 числа  $N$  измерений, приводило к снижению дисперсии  $\sigma_s$  и полной ошибки  $\epsilon_s$ . Так, при использовании всех поступивших измерений частоты ошибка  $\epsilon_s$  в конце наблюдения уменьшалась примерно на  $10 \div 20\%$ , по сравнению со значениями, изображенными на рис. 2 и рис. 3. Однако большое  $N$  вряд ли оправдано, поскольку может приводить к значительному росту систематической ошибки  $m_s$  при движении цели с курсами  $\psi$ , отличными от  $90^\circ$ .

На рис. 4 сплошными линиями показаны результаты двух экспериментов по определению координат цели (5), (6) по вычисленным параметрам (10), (14), (15) для рассмотренных примеров.

Эксперименты показали, что разработанный алгоритм обладает достаточно высокой для рассматриваемого класса систем точностью. Для сравнения на рис. 2 и рис. 3 сплошными линиями показаны графики потенциально достижимого среднеквадратичного отклонения ошибки определения величины  $s$  методом максимального правдоподобия в системе с заданными параметрами и для рассматриваемых траекторий. Расчет потенциальной точности произведен по матрице Фишера [11] для параметров  $\tau$ ,  $s$ ,  $v_y$  ортогональной оси  $Ox$  траектории.

Следует отметить, что в экспериментах алгоритм (7) – (15) сохранял работоспособность при отклонении курса  $\psi$  от  $90^\circ$  (в диапазоне от  $60^\circ$  до  $120^\circ$ ). В таких случаях уточнение значений траекторных параметров  $\tau$ ,  $s$ ,  $v$ , и угла  $\psi$  относительно постулированного в алгоритме значения  $\psi = 90^\circ$  нетрудно произвести на следующем этапе обработки методом максимального правдоподобия. Этим же методом можно уточнить и координаты наклонной траектории [9, 12].

Применимость алгоритма исследовалась и для целей с нелинейным во времени изменением координат и для маловысотных целей. Было установлено, что при движении с незначительными ускорениями ортогонально оси  $Ox$  работоспособность алгоритма также сохранялась: увеличение погрешностей координат происходило, главным образом, до пересечения целью оси  $Ox$ . В случае же движения цели на небольшой высоте (до 2 км) над плоскостью  $xOy$  точность оценки параметров изменялась незначительно.

Разновидность формул (14), (15) может быть получена, если выразить  $\Delta f(t)$  и далее  $\omega(t)$  через коэффициенты  $c_{11}$  и  $c_{12}$  (7), например,

$$f_1^a(t) - f_2^a(t) = c_{01} + c_{11}t - c_{02} - c_{12}t \approx c_{12}\tau_2 - c_{11}\tau_1, \quad \omega(t) \approx -\frac{\lambda}{b}(c_{12}\tau_2 - c_{11}\tau_1), \quad (16)$$

или

$$f_1^a(t) - f_2^a(t) \approx \frac{c_{11} + c_{12}}{2}(\tau_2 - \tau_1), \quad \omega(t) \approx -\frac{\lambda}{b} \frac{c_{11} + c_{12}}{2}(\tau_2 - \tau_1).$$

Тогда

$$s = \frac{2ab \operatorname{tg}(\beta/2)}{-\lambda(c_{12}\tau_2 - c_{11}\tau_1)(\tau_2 - \tau_1) + 2b \operatorname{tg}(\beta/2)} = \frac{b^2}{-\lambda(c_{12}\tau_2 - c_{11}\tau_1)(\tau_2 - \tau_1) + 2b \operatorname{tg}(\beta/2)}, \quad (17)$$

или

$$s = \frac{4a \operatorname{tg}(\beta/2)b}{-\lambda(c_{11} + c_{12})(\tau_2 - \tau_1)^2 + 4 \operatorname{tg}(\beta/2)b} = \frac{2b^2}{-\lambda(c_{11} + c_{12})(\tau_2 - \tau_1)^2 + 4 \operatorname{tg}(\beta/2)b}. \quad (18)$$

Коэффициенты  $c_{01}$  и  $c_{02}$  в (16) выражены через моменты  $\tau_1$  и  $\tau_2$  (8):  $c_{01} = -c_{11}\tau_1$ ,  $c_{02} = -c_{12}\tau_2$ . В рассматриваемых условиях алгоритмы на основе (14) и (17), (18) приводили к примерно одинаковым результатам. Выражение  $\omega$  через  $c_{11}$ ,  $c_{12}$  и формулы (17), (18) могут быть полезны при использовании первичной обработки с многоканальностью по девиации частоты.

На основе понятия угловой скорости можно получить и другие выражения для расчета траекторных параметров в просветных системах. В качестве примера приведем еще одну формулу для параметра  $s$  [8,9]:

$$s = \frac{a\lambda\gamma}{\lambda\gamma - a\omega^2}, \quad (19)$$

где  $\gamma$  – скорость изменения доплеровской частоты сигнала, принимаемого в точке  $O$  с координатами  $(0, 0)$  (рис. 1), которая при использовании приемников  $\text{Пр}_1$  и  $\text{Пр}_2$  находится как среднее арифметическое коэффициентов  $c_{11}$ ,  $c_{12}$ :

$$\gamma = \frac{c_{11} + c_{12}}{2}.$$

По (19) можно рассчитать параметр  $s$  и в бистатистических просветных системах, когда вместо двух приемников используется один в точке  $O$ , но с измерениями угла  $\varphi(t)$  в дополнение к измерениям доплеровской частоты  $f(t)$  [3,10]. В этом случае  $\gamma$  следует определять путем аппроксимации измерений доплеровской частоты, а  $\omega$  – аппроксимацией угловых измерений.

В бистатистических системах с большой относительной ошибкой измерений угла

$$\sigma_{\varphi}/\varphi(t) \gg \sigma_f/f(t),$$

( $\sigma_{\varphi}$  – среднеквадратичное отклонение ошибки измерения угла) точность будет выше при вычислении скорости изменения угла по формуле

$$\omega(t) = \frac{\varphi^a(t)}{t - \tau} \quad (20)$$

с привлечением частотных измерений для оценки момента  $\tau$  пересечения целью оси  $Ox$  ( $f(\tau) = 0$ ). И если оценку  $\tau$  целесообразно производить по измерениям доплеровской частоты  $f(t)$  при движении цели в непосредственной близости от оси  $Ox$ , то аппроксимированное значение угла  $\varphi^a(t)$  лучше определять по измерениям угла на максимальном удалении цели от оси  $Ox$  (при условии  $\sigma_{\varphi} = \text{const}$  [10]). На конечных участках траектории величину  $\gamma$  можно также определить по формуле, аналогичной (20), с оценкой  $\tau$ , полученной в окрестности оси  $Ox$ .

В трехкоординатных бистатистических РЛС поиск траекторных параметров следует осуществлять сначала в горизонтальной плоскости ( $\tau, s, v_y$ ), а затем отдельно производить расчет высоты уже с привлечением измерений угла места [10].

### Выводы

Таким образом, алгоритм, состоящий из аппроксимации измерений доплеровских частот (7), вычисления моментов  $\tau_1, \tau_2$  (8) и угловой скорости  $\omega$  (3), определения по (10), (14), (15) траекторных параметров цели, позволяет получать оценки параметров с приемлемой для просветных систем точностью. Текущие координаты цели после определения траекторных параметров рассчитываются по (4), (5) и далее при необходимости могут быть уточнены методом максимального правдоподобия. В системах с несколькими передатчиками для расчета параметров траектории следует вычислять угловую скорость относительно системы передатчиков [8].

Аналогичные алгоритмы с оцениванием угловой скорости и моментов пересечения целью отрезков между передатчиками и приемниками и последующим расчетом на основе приближенных формул параметров траектории и далее координат можно использовать в просветных радиолокаторах других типов, например в бистатистических, с одним передатчиком и одним приемником.

### Библиографический список

1. Ваганов, Р.Б. Основы теории дифракции / Р.Б. Ваганов, Б.З. Каценеленбаум. – М.: Наука, 1982. – 272 с.
2. Уфимцев, П.Я. Основы физической теории дифракции / П.Я. Уфимцев. – М.: БИНОМ, 2011. – 351 с.
3. Бляхман, А.Б. Бистатистическая эффективная площадь рассеяния и обнаружение объектов при радиолокации "на просвет" / А.Б. Бляхман, И.А. Рунова // Радиотехника и электроника. – 2001. Т. 46. № 4. С. 424–432.
4. Чапурский, В.В. Синтезированная теневая радиоголография в бистатистической радиолокации // Радиотехника. 2009. № 3. С. 52–69.
5. Ковалев, Ф.Н. Определение координат движущихся целей по измерениям доплеровской ча-

- стоты в радиолокационных системах с обнаружением "на просвет" // Радиотехника и электроника. 2007. Т. 52. № 3. С. 331–339.
6. Ковалев, А.Н. Измерение угловых координат движущейся цели в просветных радиолокаторах с разнесенным приемом / А.Н. Ковалев, Ф.Н. Ковалев // Труды Нижегород. гос. техн. у-та. 2013. № 4(101). С. 134–139.
  7. Ковалев, Ф.Н. Интегральный доплеровский метод измерения угловых координат объекта в системах радиолокации на просвет // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2013. № 12. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec13/13/text.pdf>.
  8. Ковалев, А.Н. Определение координат движущейся цели в просветной многопозиционной радиолокационной системе / А.Н. Ковалев, Ф.Н. Ковалев // Вестник Рязан. гос. радио-тех. у-та. 2013. № 4. Вып. 46. Ч. 1. С. 46–49.
  9. Ковалев, Ф.Н. Определение координат цели методом максимального правдоподобия в просветной многопозиционной радиолокационной системе // Системы управления и информационные технологии. 2013. № 2.1(52). С. 128–132.
  10. Ковалев, Ф.Н. Определение параметров траектории цели в просветных бистатических радиолокационных системах // Системы управления и информационные технологии. 2013. № 4(54). С. 86–90.
  11. Ковалев, А.Н. Определение момента пересечения объектом отрезка между приемником и передатчиком в системах радиолокации на просвет / А.Н. Ковалев, Ф.Н. Ковалев // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 4(12). С. 30–36.
  12. Черняк, В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.

*Дата поступления  
в редакцию 04.02.2014*

**A.N. Kovalev, F.N. Kovalev**

## **ALGORITHM OF ESTIMATING THE TARGET COORDINATES IN FORWARD-SCATTERING MULTISTATIC RADAR SYSTEM**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The design of algorithm of estimating the target coordinates in forward-scattering radar system with one transmitter and two synchronized receivers. A companion purpose is to develop methodology for determining the coordinates of the moving object by estimation its trajectory parameters.

**Methodology / approach:** The algorithm is based on geometrical features of forward-scattering radar system and features of motion of typical targets. The main results are confirmed by a simulations experiment.

**Findings:** Algorithm of estimating the trajectory parameters and target coordinates by measuring the Doppler frequencies in the two spaced apart receivers of forward-scattering radar system is proposed. Basis for the algorithm is approximation Doppler measurements, calculation of the angular velocity by difference Doppler frequencies, estimating moments the location of target between the transmitter and each receiver by approximating polynomials, geometrical relations of forward-scattering radar systems. The investigation of the algorithm was performed on a mathematical model.

New methodology of calculation the coordinates by the value of trajectory parameters is tested on the proposed algorithm.

**Research limitations/implications:** Forward-scattering radar.

**Originality/value:** The proposed algorithm simplifies finding a location of targets in forward-scattering radar systems with measurements of Doppler frequency in spaced apart receivers. Sequence of basic operations of the algorithm may be used for processing of measurements in other types of forward-scattering radar systems with monochromatic radiation, including a bistatic radar.

**Key words:** forward-scattering radar, multistatic radar system, Doppler frequency, approximation of measurements Doppler frequency, angular velocity, moment the location of target between the transmitter and receiver, trajectory parameters.



## МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

УДК 537.86

Н.В. Асеева, Л.Г. Бляхман, К.В. Логвинова, В.В. Тютин

### ЗАТУХАЮЩИЕ СОЛИТОНЫ В РАСШИРЕННОМ НЕЛИНЕЙНОМ УРАВНЕНИИ ШРЕДИНГЕРА С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ИНДУЦИРОВАННЫМ РАССЕЯНИЕМ И УБЫВАЮЩЕЙ ДИСПЕРСИЕЙ

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики

**Цель работы:** Исследована динамика солитонов в рамках расширенного нелинейного уравнения Шредингера (НУШ), полученного из системы уравнений «захаровского» типа, описывающего взаимодействие между высоко- и низкочастотными (ВЧ и НЧ) волнами. Полученное расширенное НУШ учитывает псевдо-вынужденное рассеяние Рамана, т.е. пространственный аналог классического вынужденного рассеяния Рамана, описываемого в оптике расширенным НУШ во временной формулировке. Также учтена неоднородность пространственной дисперсии второго порядка и линейные потери ВЧ волн.

**Научный подход:** Исследование проведено как численно, так и аналитически.

**Результат:** Показано, что уменьшение волнового числа пакетов, обусловленное псевдо-вынужденным рассеянием Рамана, можно компенсировать увеличением волнового числа за счет дисперсии второго порядка, экспоненциально убывающей в пространстве. Аналитически найдено «солитонное» решение, сохраняющее свою структуру. Аналитические результаты подтверждены численным счетом.

**Новизна:** Результаты исследования новые и могут иметь приложение для разработки новых поколений оптоволоконных линий связи на базе коротких оптических солитонов.

*Ключевые слова:* расширенное нелинейное уравнение Шредингера, затухающий солитон, вынужденное рассеяние, неоднородность, дисперсия второго порядка, затухание ВЧ волн, линейные потери НЧ-волн, аналитическое решение, численный эксперимент.

### Введение

В настоящее время значителен интерес к солитонам, обусловленный их способностью сохранять свою форму, и переносить энергию и информацию в течение длительного времени без значительных потерь. Солитонные решения возникают во многих областях физики, имеющих дело с распространением интенсивных волновых полей в диспергирующих средах: оптические лучи и импульсы в волоконных линиях связи и волноводах, электромагнитные волны в плазме, поверхностные волны на глубокой воде и т.д. [1-7]. В последнее время солитоны используют и для описания «плазмонов» [8-10].

Динамика протяженных ВЧ волновых пакетов корректно описывается во втором порядке теории дисперсии нелинейных волн. Основным модельным уравнением в этом случае является НУШ [11, 12], которое учитывает дисперсию второго порядка и кубичную нелинейность (самоукручение). Солитонное решение в рамках НУШ существует в результате баланса между дисперсионным расплыванием и нелинейным сжатием волнового пакета. В частности, решение с постоянной структурой в виде затухающего солитона в рамках НУШ, учитывающего линейные потери ВЧ-волн и пространственное убывание дисперсии второго порядка, представлено в [4, 13].

Для описания динамики коротких ВЧ волновых пакетов используется уже третье приближение теории дисперсии нелинейных волн [1], которое учитывает нелинейную диспер-

сию [14], вынужденное рассеяние Рамана [15-17] и дисперсию третьего порядка. Основное модельное уравнение в этом случае – расширенное НУШ [17-21]. Солитонное решение в рамках расширенного НУШ с дисперсией третьего порядка и нелинейной дисперсией было получено в [22-29]. В [30, 31], были найдены стационарные волны перепада в рамках расширенного НУШ с вынужденным рассеянием Рамана и нелинейной дисперсией.

Эти волны существуют в результате равновесия между вынужденным рассеянием и нелинейной дисперсией. Для локализованных нелинейных волновых пакетов (солитонов) вынужденное рассеяние приводит к сдвигу вниз спектра солитона [15-17] и, в итоге, – к разрушению солитона. Использование баланса между вынужденным рассеянием и переменными характеристиками среды для стабилизации солитонов в протяженных линиях передач предложено в [32]. Компенсация вынужденного рассеяния линейным излучением из ядра солитона рассмотрена в [33]. Компенсация вынужденного рассеяния в неоднородных средах рассмотрена в нескольких случаях: с периодической дисперсией второго порядка [34, 35], в средах со сдвигом точки нулевой дисперсии второго порядка [36], в оптических волокнах с убывающей дисперсией [37].

Интенсивные короткие импульсы ВЧ электромагнитных или ленгмюровских волн в плазме, а также ВЧ поверхностные волны на глубокой воде, испытывают существенное затухание в результате рассеяния на НЧ волнах, которое, в свою очередь, возникает как эффект вязкости. Такие НЧ моды являются ионно-звуковыми волнами в плазме, или внутренними волнами в стратифицированной жидкости. Первая модель для затухания при взаимодействии с НЧ-волнами была предложена в [38]. Эта модель использует расширенное НУШ с пространственным аналогом вынужденного рассеяния Рамана, которое было названо псевдовынужденное рассеяние Рамана. Это уравнение было получено из системы уравнений «захаровского» типа [39, 40] для связанных ленгмюровских и ионно-звуковых волн в плазме. Псевдовынужденное рассеяние приводит к сдвигу вниз по спектру волнового числа, подобно хорошо известному эффекту классического вынужденного рассеяния [1, 14–17] и, в итоге, к разрушению солитона. Модель, разработанная в [38], также учитывает плавное пространственное изменение дисперсии второго порядка (как пространственное уменьшение коэффициента дисперсии второго порядка). Эта неоднородность приводит к сдвигу вверх по спектру собственного волнового числа волнового пакета и делает возможным для солитонов компенсацию псевдовынужденного рассеяния пространственно неоднородной дисперсией второго порядка и уничтожает эффект потерь на НЧ-волнах.

В данной работе рассмотрена динамика интенсивных ВЧ волновых пакетов в диспергирующих нелинейных средах при учете рассеяния на затухающих НЧ-волнах, линейных потерь ВЧ-волн и экспоненциально убывающей дисперсии второго порядка. В третьем приближении теории дисперсии нелинейных волн (для коротких волновых пакетов), исходная система уравнений «захаровского» типа сведена к расширенному неоднородному НУШ. Это уравнение включает член псевдовынужденного рассеяния Рамана и член пространственно убывающей дисперсии второго порядка. Равновесие между этими двумя членами дает возможность стабилизации спектра волнового числа солитона. Найдено решение в виде устойчивого солитона.

### Основное уравнение и интегральные соотношения

Рассмотрим эволюцию медленно изменяющейся огибающей  $W(\xi, t)$  интенсивного волнового пакета в нелинейной среде с неоднородной дисперсией. Учтем взаимодействие с затухающими НЧ-волнами, которое можно представить как локальное возмущение эффективного показателя преломления  $n(\xi, t)$ . Эта эволюция описывается соответствующей системой уравнений «захаровского» типа для однонаправленного распространения ВЧ- и НЧ-волн [39, 40]

$$2i\left(\frac{\partial W}{\partial t} + V\frac{\partial W}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(q(x)\frac{\partial W}{\partial x}\right) - nW + ivW = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} + V_s \frac{\partial n}{\partial x} - \delta \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} = - \frac{\partial(|W|^2)}{\partial x}, \quad (2)$$

где  $v$  - коэффициент потерь ВЧ волн;  $\delta$  - коэффициент вязкости для ВЧ волн;  $V$  - групповая скорость ВЧ волн;  $V_s$  - скорость НЧ-волн. Как отмечалось ранее, эта система описывает интенсивные ленгмюровские волны в изотропной плазме при взаимодействии с ионно-звуковыми волнами, которое соответствует вязкому трению.

В третьем приближении теории дисперсии нелинейных волн (для коротких ВЧ волновых пакетов, при  $k\Delta \ll \delta$ , где  $k$ ,  $\Delta$  - характерные волновое число и пространственная протяженность волнового пакета), в приближении нелинейного отклика среды  $n = -|W|^2(V_s - V)^{-1} - \delta(V_s - V)^{-2} \partial(|W|^2)/\partial \xi$ , приходим к следующему эволюционному уравнению для огибающей ВЧ волновых пакетов:

$$2i \frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \xi} \left[ q(\xi + Vt) \frac{\partial W}{\partial \xi} \right] + 2\alpha W |W|^2 + \mu W \frac{\partial(|W|^2)}{\partial \xi} + i\nu W = 0, \quad (3)$$

где  $\xi \equiv x - Vt$ ,  $\alpha \equiv (1/2)(V_s - V)^{-1}$ , слагаемое  $\mu W \partial(|W|^2)/\partial \xi$ , с коэффициентом

$$\mu \equiv \delta(V_s - V)^{-2} \quad (4)$$

– это пространственный аналог вынужденного рассеяния Рамана во временном представлении. После подстановки

$$W \equiv U \exp(-it/2), \quad (5)$$

уравнение (3) принимает вид

$$2i \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \xi} \left[ q(\xi + Vt) \frac{\partial U}{\partial \xi} \right] + 2\alpha U |U|^2 \exp(-\nu t) + \mu U \frac{\partial(|U|^2)}{\partial \xi} \exp(-\nu t) = 0. \quad (6)$$

Уравнение (6) при нулевых условиях на бесконечности  $U|_{\xi \rightarrow \pm\infty} \rightarrow 0$  имеет следующие интегральные соотношения для моментов волнового поля:

$$\frac{dN}{dt} \equiv \frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{+\infty} |U|^2 d\xi = 0; \quad (7)$$

$$2 \frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{+\infty} K |U|^2 d\xi = -\mu \exp(-\nu t) \int_{-\infty}^{+\infty} \left( \frac{\partial(|U|^2)}{\partial \xi} \right)^2 d\xi - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial q}{\partial \xi} \left| \frac{\partial U}{\partial \xi} \right|^2 d\xi; \quad (8)$$

$$\frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \frac{\partial U}{\partial \xi} \right|^2 d\xi = -\mu \exp(-\nu t) \int_{-\infty}^{+\infty} K \left( \frac{\partial(|U|^2)}{\partial \xi} \right)^2 d\xi \quad (9)$$

$$+ \alpha \exp(-\nu t) \int_{-\infty}^{+\infty} K \frac{\partial(|U|^4)}{\partial \xi} d\xi - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial q}{\partial \xi} \left( \frac{\partial^2 U}{\partial \xi^2} \frac{\partial U^*}{\partial \xi} - \frac{\partial^2 U^*}{\partial \xi^2} \frac{\partial U}{\partial \xi} \right) d\xi;$$

$$\frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{+\infty} \left( \frac{\partial(|U|^2)}{\partial \xi} \right)^2 d\xi = 2 \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\partial^2(|U|^2)}{\partial \xi^2} \frac{\partial(qK|U|^2)}{\partial \xi} d\xi; \quad (10)$$

$$\frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{+\infty} |U|^4 d\xi = \int_{-\infty}^{+\infty} qK \frac{\partial(|U|^4)}{\partial \xi} d\xi; \quad (11)$$

$$\frac{d}{dt} \int_{-\infty}^{\infty} \xi |U|^2 d\xi = \int_{-\infty}^{+\infty} q K |U|^2 d\xi. \quad (12)$$

В указанных соотношениях комплексное волновое поле представлено в виде  $U \equiv |U| \exp(i\phi)$ ,  $U^*$  - комплексно сопряженная к нему величина,  $K \equiv \partial\phi / \partial\xi$  - локальное волновое число.

### Аналитические результаты

#### Изменение моментов волнового поля

Примем характерные масштабы неоднородностей дисперсии второго порядка и локального волнового числа  $K$  много большими пространственной ширины огибающей волнового пакета  $D_{q,K} \gg D_{|U|}$ . Аппроксимируем пространственное изменение волнового числа

линейной функцией:  $K(\xi, t) \approx K(\bar{\xi}, t) + (\partial K / \partial \xi)_{\bar{\xi}} (\xi - \bar{\xi})$ , где  $\bar{\xi} \equiv N^{-1} \int_{-\infty}^{+\infty} \xi |U|^2 d\xi$  и

$N \equiv \int_{-\infty}^{+\infty} |U|^2 d\xi$ . Далее получим из мнимой части уравнения (6), при условии  $(\partial |U| / \partial \xi)_{\bar{\xi}} = 0$

(которое означает, что максимум амплитуды солитона совпадает с его центром масс), соотношение

$$\left( \frac{\partial K}{\partial \xi} \right)_{\bar{\xi}} = - \left( \frac{2}{q|U|} \frac{\partial |U|}{\partial t} + \frac{1}{q} \frac{\partial q}{\partial \xi} K \right)_{\bar{\xi}}. \quad (13)$$

Из уравнения (6), при учете (13), для уединенных волновых пакетов распределение волнового числа можно представить в виде

$$K(\xi, t) = k(t) + \left( \frac{v}{q} + \frac{V}{q^2} \frac{\partial q}{\partial \xi} \right)_{\bar{\xi}} (\xi - \bar{\xi}), \quad (14)$$

где  $k(t) \equiv K(\bar{\xi}, t)$ . Далее система уравнений (8)-(12) может быть преобразована в эволюционные уравнения для параметров волновых пакетов:

$$2N \frac{dk}{dt} = -\mu L_0 l \exp(-vt) - q'(\bar{\xi} + Vt) Nz, \quad (15)$$

$$\begin{aligned} N \frac{dz}{dt} = & -\mu L_0 k l \exp(-vt) - 3k q'(\bar{\xi} + Vt) Nz + 2k^3 q'(\bar{\xi} + Vt) N \\ & - \frac{\alpha}{q(\bar{\xi} + Vt)} M_0 \left( v + V \frac{q'(\bar{\xi} + Vt)}{q(\bar{\xi} + Vt)} \right) m \exp(-vt), \end{aligned} \quad (16)$$

$$\frac{dm}{dt} = -k q'(\bar{\xi} + Vt) m - \left( v + V \frac{q'(\bar{\xi} + Vt)}{q(\bar{\xi} + Vt)} \right) m, \quad (17)$$

$$\frac{dl}{dt} = -3k q'(\bar{\xi} + Vt) l, \quad (18)$$

$$\frac{d\bar{\xi}}{dt} = k q(\bar{\xi} + Vt), \quad (19)$$

где  $q'(\bar{\xi} + Vt) \equiv (\partial q / \partial \xi)_{\bar{\xi}}$ ,  $l \equiv L / L_0$ ,  $m \equiv M / M_0$ ,  $z \equiv Z / N$ ;  $Z \equiv \int_{-\infty}^{\infty} |\partial U / \partial \xi|^2 d\xi$ .

$M \equiv \int_{-\infty}^{\infty} |U|^4 d\xi$ ,  $L \equiv \int_{-\infty}^{\infty} (\partial(|U|^2)/\partial\xi)^2 d\xi$ , вместе с энергией волнового пакета  $N$  (определенной в уравнении (7)), – это характеристические интегралы волнового пакета.  $M_0 = M(0)$ ,  $L_0 = L(0)$  – исходные значения этих интегралов.

Выберем пространственное изменение дисперсии второго порядка в виде  $v + Vq'(\xi + Vt)/q(\xi + Vt) = 0$ , соответствующем экспоненциально убывающему профилю

$$q = q_0 \exp(-vx/V). \quad (20)$$

Теперь система (15)-(19), при переопределении времени и координаты солитона

$$\theta \equiv vt, \eta \equiv v\xi/V, \quad (21)$$

преобразуется к виду

$$2 \frac{V}{q_0} \exp \theta \frac{dk}{d\theta} = -pl + z \exp(-\eta), \quad (22)$$

$$\frac{V}{q_0} \exp \theta \frac{dz}{d\theta} = -pkl + 3k \exp(-\eta)z - 2k^3 \exp(-\eta), \quad (23)$$

$$\frac{V}{q_0} \exp \theta \frac{dl}{d\theta} = 3kl \exp(-\eta), \quad (24)$$

$$\frac{V}{q_0} \exp \theta \frac{d\eta}{d\theta} = k \exp(-\eta) \quad (25)$$

где  $p \equiv \mu VL_0 / (vq_0 N)$ . Используя первые интегралы  $l = \exp(3\eta)$  и  $z = k^2 + (z_0 - k_0^2) \exp(2\eta)$ , где  $k_0 = k(0)$ ,  $z_0 \equiv Z_0 / N$ ,  $Z_0 = Z(0)$ , система уравнений (22)-(25) сводится к виду

$$2\sigma \exp \theta \frac{dy}{d\theta} = -\lambda \exp(3\eta) + y^2 \exp(-\eta) + (1 - y_0^2) \exp(\eta), \quad (26)$$

$$\sigma \exp \theta \frac{d\eta}{d\theta} = y \exp(-\eta). \quad (27)$$

Здесь определены новые константы  $\sigma \equiv V / (q_0 \sqrt{z_0})$ ,  $y_0 = y(0)$ ,

$$\lambda \equiv p / z_0 = \mu VL_0 / (z_0 v q_0 N) \quad (28)$$

и отмасштабированное волновое число солитона

$$y \equiv k / \sqrt{z_0}. \quad (29)$$

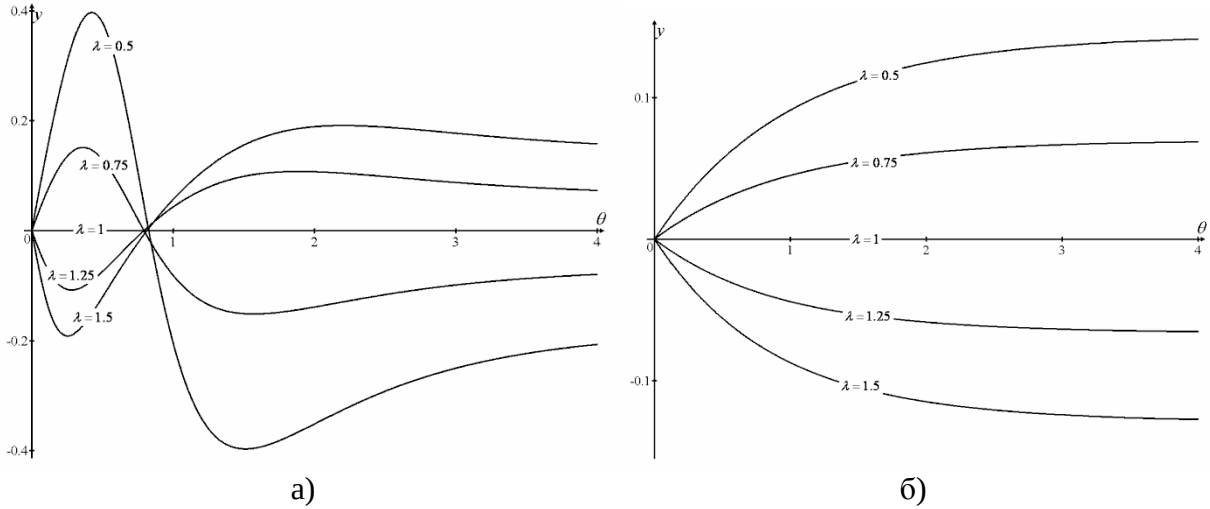
Равновесное состояние системы (27)-(28) достигается при условии

$$k = 0, \quad VL_0 \mu = q_0 v Z_0. \quad (30)$$

В равновесном режиме волновой пакет  $U$  распространяется, сохраняя исходные величины интегральных моментов  $N$ ,  $L_0$ , и  $Z_0$ , и с нулевым волновым числом. Однако моменты волнового поля исходного волнового пакета  $W = U \exp(-\theta/2)$  экспоненциально затухают  $N_w(\theta) = N \exp(-\theta)$ ,  $L_w(\theta) = L_0 \exp(-\theta)$ ,  $Z_w(\theta) = Z_0 \exp(-\theta)$ . Первый интеграл этих уравнений имеет вид:

$$3y^2 \exp(-\eta) - \lambda(1 - \exp(3\eta)) + 3(1 - y_0^2)(1 - \exp(\eta)) = 3y_0^2. \quad (31)$$

На рис. 1 представлена эволюция  $y(\theta)$  во времени, как следствие уравнений (26)–(27), при начальном условии  $y_0 = 0$  и для различных величин  $\sigma$  и  $\lambda$ .



**Рис. 1. Эволюция  $y(\theta)$  во времени при начальном условии  $y_0 = 0$  и различных величинах  $\sigma$ :  
 $a - \sigma = 1/10$ ;  $b - \sigma = 1$ , и  $\lambda$**

### Солитонное решение

Рассмотрим теперь решение уравнения (6) при экспоненциальном пространственном профиле дисперсии второго порядка, определенном соотношением (20), т.е.  $q(\xi + Vt) = q_0 \exp(-(\xi + Vt)/D)$ . Искомое решение представим в виде волны стационарного профиля  $U(\xi, t) = \psi(\xi) \exp(i \int \Omega(t) dt)$ :

$$q_0 \exp\left(-\frac{\xi}{D}\right) \exp\left[t\left(v - \frac{V}{D}\right)\right] \frac{d^2 \psi}{d\xi^2} - \frac{q_0}{D} \exp\left(-\frac{\xi}{D}\right) \exp\left[t\left(v - \frac{V}{D}\right)\right] \frac{d\psi}{d\xi} + 2\alpha \psi^3 - 2\Omega(t) \exp(vt) \psi + \mu \psi \frac{d(\psi^2)}{d\xi} = 0. \quad (32)$$

При условии  $V/D = v$  и  $\Omega(t) = \Omega_0 \exp(-vt)$  уравнение (32) дает

$$q_0 \exp\left(-\frac{v\xi}{V}\right) \frac{d^2 \psi}{d\xi^2} + 2\alpha \psi^3 - 2\Omega_0 \psi - v \frac{q_0}{V} \exp\left(-\frac{v\xi}{V}\right) \frac{d\psi}{d\xi} + \mu \psi \frac{d(\psi^2)}{d\xi} = 0. \quad (33)$$

Предположим, как было показано ранее, что масштаб пространственной неоднородности дисперсии второго порядка много больше ширины волнового пакета  $D \equiv V/v \gg D_U$ . Принимая во внимание, что  $\varepsilon \sim vD_U/V \sim \mu \ll \alpha, q_0$  и аппроксимация  $\exp(-v\xi/V) \approx 1 - v\xi/V$ , решение уравнения (33) можно найти в виде

$$\psi = \psi_0 + \psi_1, \text{ при } \psi_1 \sim \varepsilon \psi_0 \ll \psi_0. \quad (34)$$

Удерживая члены порядка  $\varepsilon$ , получим

$$q_0 \frac{d^2 \psi_0}{d\xi^2} + 2\alpha \psi_0^3 - 2\Omega \psi_0 = 0, \quad (35)$$

$$q_0 \frac{d^2 \psi_1}{d\xi^2} + (6\alpha \psi_0^2 - 2\Omega) \psi_1 = v \frac{q_0}{V} \frac{d^2 \psi_0}{d\xi^2} \xi - \frac{2}{3} \mu \frac{d(\psi_0^3)}{d\xi} + v \frac{q_0}{V} \frac{d\psi_0}{d\xi}. \quad (36)$$

Уравнение (35) в нулевом порядке дает решение в виде солитона классического профиля:

$$\psi_0 = A_0 \operatorname{sech}(\xi/\Delta),$$

где

$$\Delta \equiv \sqrt{q}/(A_0 \sqrt{\alpha}) \text{ и } \Omega \equiv \alpha A_0^2/2. \quad (37)$$

После введения обозначений  $\eta \equiv \xi / \Delta$  и  $\Psi \equiv \psi_1 V / (v A_0 \Delta)$  уравнение (36) первой поправки примет вид

$$\frac{d^2 \Psi}{d\eta^2} + \left( \frac{6}{\cosh^2 \eta} - 1 \right) \Psi = -2 \frac{\eta}{\cosh^3 \eta} + \frac{\eta}{\cosh \eta} + \frac{5}{4} \frac{\mu}{\mu_*} \frac{\sinh \eta}{\cosh^4 \eta} - \frac{\sinh \eta}{\cosh^2 \eta}, \quad (38)$$

где

$$\mu_* \equiv 5 q_0 v / (8 A_0^2 V) \quad (39)$$

– равновесная величина коэффициента псевдо вынужденного рассеяния. Фактически, уравнение (39) определяет величину амплитуды солитона в нулевом приближении  $A_0$ , с которой солитон существует в принятой модели, т.е. в рамках уравнений (1), (2) и (20). При условии  $\Psi(0) = 0$  уравнение (38) приводит к точному решению для первой поправки,

$$\Psi(\eta) = \left( \Psi'(0) \tanh \eta - \frac{\eta^2}{4} \tanh \eta + \frac{\mu}{4\mu_*} (\tanh \eta) \ln(\cosh \eta) \right) \operatorname{sech} \eta + \frac{1}{12} \left( \frac{\mu}{\mu_*} - 1 \right) (\tanh^2 \eta) \sinh \eta, \quad (40)$$

что можно сравнить с похожим решением, показанном в [38]. При  $\mu = \mu_*$  решение (40) удовлетворяет граничным условиям  $\Psi(\eta \rightarrow \pm\infty) \rightarrow 0$ . Данное решение существует в результате баланса между псевдовынужденным рассеянием и экспоненциально убывающей дисперсией второго порядка. При  $\mu \neq \mu_*$  решение (40) на бесконечности расходится  $|\Psi(\eta \rightarrow \pm\infty)| \rightarrow \infty$ . Отметим, что полное решение, заданное выражением (33), несимметрично, и является комбинацией симметричной и антисимметричной частей нулевого порядка и первого порядка (37) и (40). Решение с несимметричными хвостами возникает в рамках хорошо известной системы линейно связанных НУШ, описывающей туннельно связанные нелинейные оптические волокна [41].

### Численный счет

Был проведен численный эксперимент для задачи эволюции волнового пакета с начально-заданным распределением  $U(\xi, t=0) = 1/\cosh \xi$ , в рамках уравнения (6) при  $v/V = 1/10$ ,  $q(\xi) = \exp(-\xi/10)$ ,  $\alpha = 1$  и различных величинах  $V$ ,  $v$  и  $\mu$ . Предсказанный аналитически равновесный уровень коэффициента псевдовынужденного рассеяния (39) для указанного начального импульса –  $\mu_* = 1/16$ .

В численном эксперименте начальный импульс при  $\mu = 1/16$  трансформировался к стационарному локализованному распределению с нулевым волновым числом. Это распределение близко к полученному аналитически решению, заданному выражениями (34), (37), и (40), с константами  $q_0 = \alpha = A_0 = 1$ ,  $q' = -1/10$ , и  $\mu = \mu_*$ , предсказанными (35)–(36):

$$|U| = \left( 1 + \frac{1}{40} \left( (\tanh \xi) \ln(\cosh \xi) - \xi^2 \tanh \xi \right) \right) \operatorname{sech} \xi. \quad (41)$$

При величине коэффициента псевдовынужденного рассеяния, отличном от  $\mu_*$  (39), численный эксперимент приводит к нестационарному решению. Например, при  $\mu = 2/64 \equiv 0.5\mu_*$ , результат приведен на рис. 2.

На рис. 3 представлены результаты как численного эксперимента изменения во времени локального волнового числа в точке максимума огибающей волнового числа при различных величинах  $\mu$  и соответствующие величины, полученные аналитически из (26)–(27). Показано близкое совпадение результатов аналитического исследования и численного эксперимента как при  $\mu = \mu_*$  (где и в аналитическом, и в численном результате волновое число остается практически нулевым), так и для нестационарных импульсов при  $\mu \neq \mu_*$ . Подобная схожесть наблюдается и при всех величинах параметров.

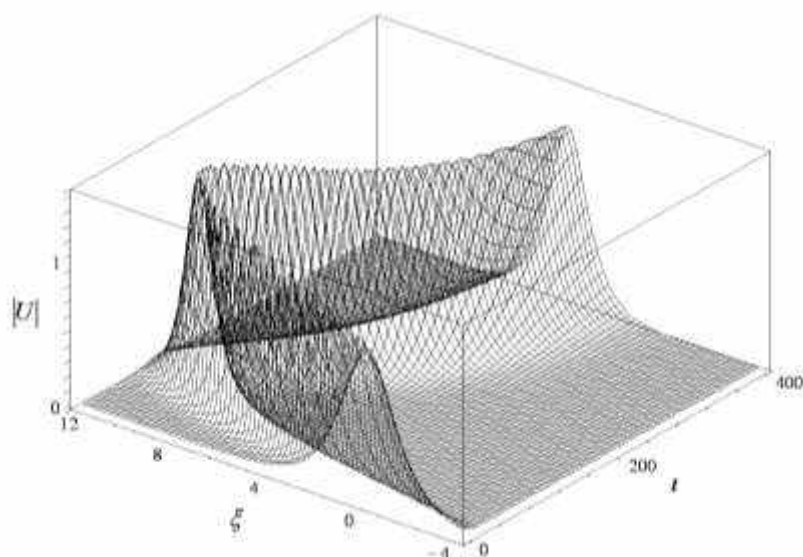


Рис. 2. Эволюция огибающей волнового пакета в численном эксперименте при  $\mu = 2/64 \equiv 0.5\mu_*$  и  $\nu = 0.01$ ,  $V = 0.1$

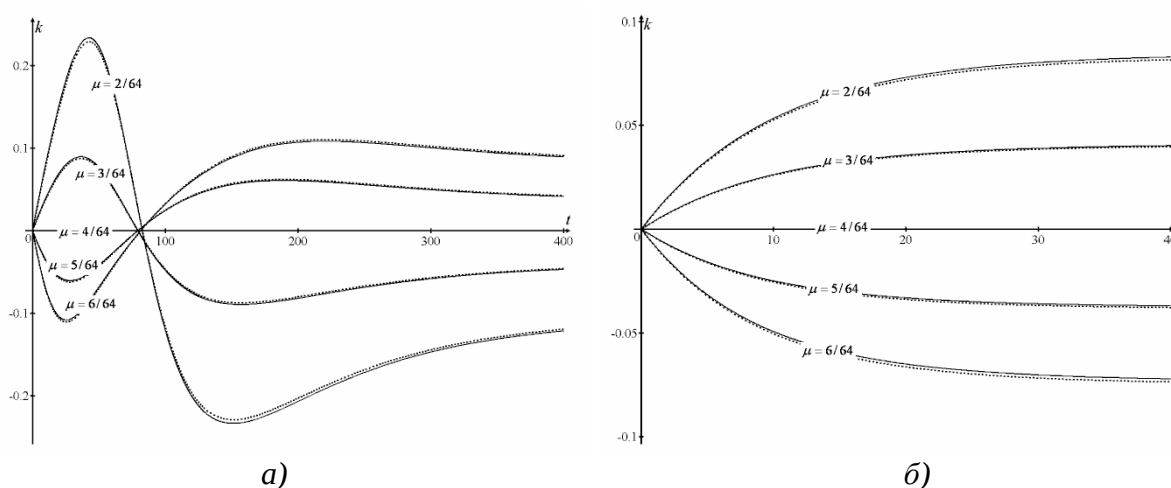


Рис. 3. Результаты численных и аналитических исследований (непрерывные и прерывистые линии). Изменение во времени локального волнового числа в максимуме огибающей волнового пакета при профиле дисперсии второго порядка  $q(x) = \exp(-x/10)$ , при различных величинах  $\mu$  и различных  $\nu$  и  $V$ :  
 $a - \nu = 0.01, V = 0.1$ ;  $b - \nu = 0.1, V = 1$

### Выводы

В данной работе исследована динамика солитона в рамках расширенного неоднородного НУШ, полученного из системы уравнений «захаровского» типа для связанных ВЧ- и НЧ-волн. Эта модель учитывает псевдовынужденное рассеяние Рамана, экспоненциально убывающую дисперсию второго порядка и линейные потери ВЧ-волн.

Результаты исследования получены аналитическим методом, основанным на анализе эволюционных уравнений для моментов волнового поля, а также подтверждены в численном эксперименте. Стационарный солитон в рамках этой модели существует в результате баланса между сдвигом вниз по спектру собственного волнового числа пакета (эффект вызван псевдовынужденным рассеянием) и сдвигом волнового числа вверх (эффект вызван экспоненциально убывающей дисперсией второго порядка). Аналитические и численные результаты совпадают для всех рассмотренных величин параметров.



В использованной модели не рассматривалась нелинейная дисперсия и линейная дисперсия третьего порядка. Модели с указанными членами высоких порядков малости и возможность компенсации эффектов псевдовынужденного рассеяния Рамана в таких моделях будут рассмотрены в дальнейших работах.

### Библиографический список

1. **Infeld, E.** Nonlinear Waves, Solitons, and Chaos / E. Infeld, G. Rowlands // Cambridge University Press. – Cambridge, 2000.
2. **Agrawal, G.P.** Nonlinear Fiber Optic // Academic Press. – San Diego, 2001.
3. **Yang, Y.** Solitons in Field Theory and Nonlinear Analysis // Springer. – New York, 2001.
4. **Kivshar, Y.S.** Optical Solitons: From Fibers to Photonic Crystals / Y.S. Kivshar, G.P. Agrawal // Academic. – San Diego, 2003.
5. **Dickey, L.A.** Soliton Equation and Hamiltonian Systems // World Scientific. – New York, 2005.
6. **Malomed, B.A.** Soliton Management in Periodic Systems // Springer. – New York, 2006.
7. **Dauxois, T.** Physics of Solitons / T. Dauxois, M. Peyrard // Cambridge University Press. – Cambridge, 2006.
8. **Sich M., Krizhanovskii D.N., Skolnick M.S., Gorbach A.V., Hartley R., Skryabin D.V., Cerda-Méndez E.A., Biermann K., Hey R., Santos P.V.,** Nature Phot. 6 (2012) 50-55.
9. **Kauranen M., Zayats A.V.,** Nature Phot. 6 (2012) 737-748.
10. **Cerda-Ménde E. A., Sarkar D., Krizhanovskii D. N., Gavrilov S.S., Biermann K., Skolnick M.S., and Santos P.V.,** Phys. Rev. Lett. 111 (2013) 146401.
11. **Zakharov V.E., Shabat A.B.,** Sov. Phys. JETP. 34 (1972) 62-69.
12. **Hasegawa A., Tappert F.,** Appl. Phys. Lett. 23 (1973) 142-144.
13. **Tajima K.,** Optics Letters 12 (1987) 54-56.
14. **Oliviera J.R., Moura M.A.,** Phys. Rev. E 57 (1998) 4751-4755.
15. **Mitschke F.M., Mollenauer L.F.,** Optics Letters 11 (1986) 659-661.
16. **Gordon J.P.,** Optics Letters 11 (1986) 662-664.
17. **Kodama Y.,** J. Stat. Phys. 39 (1985) 597-614.
18. **Kodama Y. and Hasegawa A.,** IEEE J. Quantum Electron 23 (1987) 510-524.
19. **Zaspel C.E.,** Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 723-726.
20. **Hong B., Lu D.,** Inter. Journal of Nonlinear Science 7 (2009) 360-367.
21. **Karpman V.I.,** The European Physical Journal B 39 (2004) 341-350.
22. **Gromov E.M., Talanov V.I.,** JETP 83 (1996) 73-79.
23. **Gromov E.M., Talanov V.I.,** Chaos 10 (2000) 551-558.
24. **Gromov E.M., Piskunova L.V., Tyutin V.V.,** Physics Letters A 256 (1999) 153-158.
25. **Obregon M.A., Stepanyants Yu.A.,** Physics Letters A 249 (1998) 315-323.
26. **Scalora M., Syrchin M., Akozbek N., Poliakov E.Y., D'Aguanno G., Mattiucci N., Bloemer M.J., Zheltikov A.M.,** Phys. Rev. Lett. 95 (2005) 013902.
27. **Wen S.C., Wang Y., Su W., Xiang Y., Fu X., Fan D.,** Phys. Rev. E 73 (2006) 036617.
28. **Marklund M., Shukla P.K., Stenflo L.,** Phys. Rev. E 73 (2006) 037601.
29. **Tsitsas N.L., Kourakis Rompotis I., Kevrekidis P.G. and Frantzeskakis D.J.,** Phys. Rev. E 79 (2009) 037601.
30. **Kivshar Y.S.,** Phys. Rev. A 42 (1990) 1757-1761.
31. **Kivshar Y.S., Malomed B.A.,** Optics Letters 18 (1993) 485-487.
32. **Malomed B.A., Tasgal R.S.,** JOSA B 15 (1998) 162-170.
33. **Biancalama F., Skrybin D.V., Yulin A.V.,** Phys. Rev. E 70 (2004) 011615.
34. **Essiambre R.-J., Agrawal G.P.,** JOSA B 14 (1997) 314-322.
35. **Essiambre R.-J., Agrawal G.P.,** JOSA B 14 (1997) 323-330.
36. **Andrianov A., Muraviev S., Kim A., Sysoliatin A.,** Laser Physics 17 (2007) 1296-1302.
37. **Chernikov S., Dianov E., Richardson D., Payne D.,** Optics Letters 18 (1993) 476-478.
38. **Gromov E.M. and Malomed B.A.,** Soliton dynamics in an extended nonlinear Schrödinger equation with a spatial counterpart of the stimulated Raman scattering, Journal of Plasma Physics 80 (2014) (accepted), text online available <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1306/1306.4550.pdf>.

39. **Zakharov V.E.**, Sov. Phys. JETP 33 (1971) 927-932.
40. **Zakharov V.E.**, Radiophysics and Quantum Electronics 17 (1974) 326-343.
41. **Blit R., Malomed B.A.**, Phys. Rev. A 86 (2012) 043841.

*Дата поступления  
в редакцию 05.02.2014*

**N.V. Aseeva, L.G. Blyakhman, K.V. Logvinova, V.V. Tyutin**

**DAMPED SOLITONS IN AN EXTENDED NONLINEAR SCHRÖDINGER  
EQUATION WITH A SPATIAL STIMULATED RAMAN SCATTERING  
AND DECREASING DISPERSION**

National Investigate University Higher School of Economics

**Purpose:** Dynamics of solitons is considered in the framework of the extended nonlinear Schrödinger equation (NSE), which is derived from a system of Zakharov's type for the interaction between high- and low-frequency (HF and LF) waves. The resulting NSE includes a pseudo-stimulated-Raman-scattering (pseudo-SRS) term, i.e., a spatial-domain counterpart of the SRS term, which is a known ingredient of the temporal-domain NLSE in optics. Also included is inhomogeneity of the spatial second-order diffraction and linear losses of HF waves.

**Approach:** Soliton's dynamic investigated as analytically as numerically.

**Findings:** It is shown that wavenumber downshift by the pseudo-SRS may be compensated by upshift provided by SOD whose local strength is an exponentially decaying function of the coordinate. An analytical soliton solution with a permanent shape is found in an approximate form, and is verified by comparison with numerical results.

*Key words:* Extended Nonlinear Schrödinger Equation, Damped Soliton Solution, Stimulated Scattering, Damping Low-Frequency Waves, Linear Loss High-Frequency Waves, Inhomogeneity, Second-Order Dispersion, Analytical Solutions, Numerical Simulation.

УДК 551.46

А.И. Зайцев<sup>1,3</sup>, С.В. Сёмин<sup>2,4</sup>, И.С. Костенко<sup>1,2</sup>**НАТУРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ОЗЕРЕ ТУНАЙЧА**Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН<sup>1</sup>,  
г. Южно-СахалинскНижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>2</sup>,  
Институт прикладной физики Российской академии наук<sup>3</sup>,  
Университет Южного Квинсленда<sup>4</sup>, г. Тувумба, Австралия**Цель:** изучение существующего в настоящее время водообмена озера Тунайча с Охотским морем. Поиск путей улучшения водообмена в озере.**Научный подход:** разработка автономной зондирующей измерительной системы с использованием датчиков AANDERAA. Измерение ряда параметров толщи воды в заданных горизонтах в северной части озера Тунайча. Используя данные измерений выполнено численное моделирование распространения морской воды в озере с помощью программного комплекса MITgcm. Проведен анализ результатов наблюдения и моделирования.**Результат:** используя данные моделирования, построено распределение гидрологических параметров на протяжении четырёх приливных циклов. Анализ показал, что максимальные скорости течения наблюдаются в узком месте озера (наименьшее расстояние между берегами и меньшие глубины по сравнению с остальной частью озера); температура на поверхности в районе узкого места озера на 2-3 градуса ниже, чем на соседних участках; наблюдается увеличение солёности в этом месте. Это может свидетельствовать о подъеме глубинных слоев воды в данном районе.**Новизна:** в результате проведения измерений гидрологических параметров в толще жидкости от поверхности до дна в заданных горизонтах получены уникальные для этого района данные, многие из которых впервые. С помощью численного моделирования получено распределение солёности, температуры и скоростей течений, что будет использовано для понимания особенностей циркуляции вод в озере и его водообмена с морем.*Ключевые слова:* автономная зондирующая измерительная система, водообмен озера Тунайча, центр сбора и обработки данных, численное моделирование.**Введение**

Озеро Тунайча расположено в юго-восточной части о. Сахалин. Его площадь составляет 174 км<sup>2</sup>, длина 29 км, ширина 6 км. Озеро лагунного типа, соленое.

Экологические проблемы озера Тунайча обусловлены отсутствием вентиляции его придонных водных слоёв холодными водами Охотского моря, присутствие которых обязательно для сохранения биообразования и экологического равновесия в водах озера. Основной причиной сложившейся ситуации является обмеление пролива Красноармейский, который соединяет озеро с заливом Мордвинова (Охотское море). Проведена серия измерений ряда параметров толщи воды в северной части озера Тунайча к югу от пролива Красноармейский (рис. 1).

В результате реализации данной работы будут получены оптимальные размеры протоки Красноармейская, необходимые для сохранения биообразования и экологического равновесия в водах озера. Значимость результатов научно-исследовательского проекта для развития социально-экономического потенциала Сахалинской области очевидна.

Озеро Тунайча называют жемчужиной Сахалина, потому что оно - одно из самых крупнейших и, пожалуй, самых глубоких и богатых водоемов острова. В озеро в период нереста заходят лососёвые, всего в его водах обитает 29 видов рыб, в том числе редчайший сахалинский таймень, карповые и корюшковые. В реках, сообщающихся с озером, водится форель. На берегах озера можно увидеть целые колонии птиц. Здесь встречаются орлан-

белохвост, утка мандаринка, хищная птица скопа, лебеди и цапли, которые прилетают сюда для прокорма.



**Рис. 1. Проведение измерений в районе пролива Красноармейский  
(северная часть озера Тунайча)**

## Средства измерения

В данной работе представлены результаты измерений автономной зондирующей измерительной системой (автономная позиционная станция (АПС) «ЭКОЗОНД»), разработанной СКБ САМИ ДВО РАН с использованием датчиков AANDERAA. Система оснащена датчиками волнения, скорости течения, солёности, температуры, радиометрического анализа (гамаспектрометр), содержания нефтепродуктов, кислорода.

Данный прибор предназначен для мониторинга водной среды. Он производит зондирующие измерения в толще жидкости от поверхности до дна в заданных горизонтах, передавая результаты измерений по радио или спутниковому каналу в центр сбора и обработки информации в автоматическом режиме. Центр сбора и обработки данных может размещаться на берегу или на судне, принимать и обрабатывать данные от нескольких десятков станций по радио или спутниковому каналу связи.

Эта разработка является уникальной. В данных гидрологических условиях нет возможности проводить измерения приборами, типа AANDERAA RDCP 600 (из-за высокой стратификации по температуре и солёности измерения акустического прибора данного типа будут неверные).

Данные измерения будут использованы для численного моделирования распространения морской воды в озере Тунайча. Моделирование будет проведено с помощью программного комплекса MITgcm, который предназначен для изучения геогидродинамических процессов широкого спектра масштабов: от конвекции в небольших водоёмах (в том числе и в опытовых лотках) до глобальных циркуляционных структур и термохалинных течений. В результате проведения серии расчетов будет изучен существующий водообмен, а также найден оптимальный для улучшения водообмена в озере. Мировой опыт показывает необходимость применения численного моделирования для решения подобных задач.

Для обеспечения свободного всплытия станция имеет расчетную положительную плавучесть 5 кг. Пост (береговой, судовой) приема информации (рис. 2) состоит из антенны УКВ, размещенной на мачте, модема УКВ, управляющего компьютера и источника питания.

Измерительная система состоит из герметичных цилиндрических модулей (рис. 3): аппаратурного 1, и питания 2, лебедки с тросом 3, прикрепленной к нижней крышке модуля питания, измерительных датчиков 4, и антенны связи 5 на верхней крышке аппаратурного

модуля. Верхний конец троса намотан на барабан лебедки, а нижний конец крепится к якорю-балласту, расположенному на дне.

АПС «ЭКОЗОНД» имеет следующие характеристики:

- максимальная глубина погружения - 200 м (в текущей конфигурации);
- точность выхода на горизонт измерений 0,1% от максимального значения рабочей глубины станции (для 200 м составляет 20 см);
- общее количество датчиков: с цифровым входом RS-232 шесть, а также есть возможность подключить шесть аналоговых датчиков;
- связь со станцией: радиоканал (может оснащаться дополнительно спутниковым модемом Globalstar, «Гонец» или гидроакустическим каналом связи). Проверка дальности передачи информации по радиоканалу до 40 км в условиях прямой радиовидимости;
- допустимое количество АПС на один центр сбора информации по УКВ каналу до 100, по спутниковому каналу зависит от выделенного ресурса;
- максимальное количество циклов измерений при энергии источника питания 3800 Ватт\*часов составит 200 циклов на 200 м; общее время нахождения в режиме ожидания 240 сут.;
- вес на воздухе с базовым комплектом датчиков 45 кг;
- допустимая скорость течения в районе установки 0,6 – 1,0 узел.



Рис. 2. Пост (береговой, судовой) приема информации



Рис. 3. АПС «ЭКОЗОНД»

### Полученные измерительные данные

На рис. 4 – рис. 6 представлены данные одного прохода станции от поверхности до глубины в северной части озера Тунайча к югу от пролива Красноармейский.

До глубины 12 м изменения скорости незначительны (1,6-8,5 см/с) (рис. 4). На глубинах более 12 м наблюдается резкое увеличение скорости течения до 35 см/с. Это может быть обусловлено поступлением в придонные слои морских вод из залива Мордвинова, так как на протяжении всего периода наблюдений был прилив в море.

Температура воды на глубинах от 2 до 7 м практически не изменяется и находится на уровне 11,8 °С (рис. 5). Однако на глубинах от 7 до 10 м наблюдается резкий температурный скачок до 10,6 °С. Это связано с тем, что в начале июня верхние слои озера более прогреты, а при приливно-отливном режиме перемешиваются только нижние слои. Далее температура воды уменьшается незначительно.

На рис. 6 представлен график изменения электропроводности, которая зависит от солёности воды. На данном графике стоит выделить резкое ее понижение на глубине 8 м, что может быть объяснено наблюдавшимся в то время приливом и размером протоки соединяющей озеро с Охотским морем.

Похожая ситуация изменения электропроводности наблюдается и при других измерениях этого же профиля, но в разное время (рис. 7).

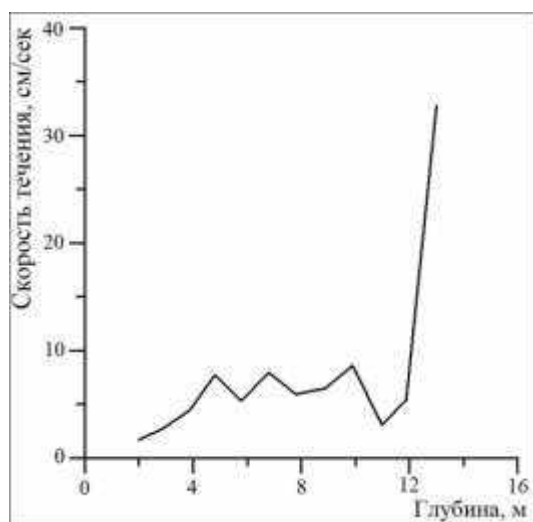


Рис. 4. Изменение скорости течения по профилю измерения в 15 ч 21 мин

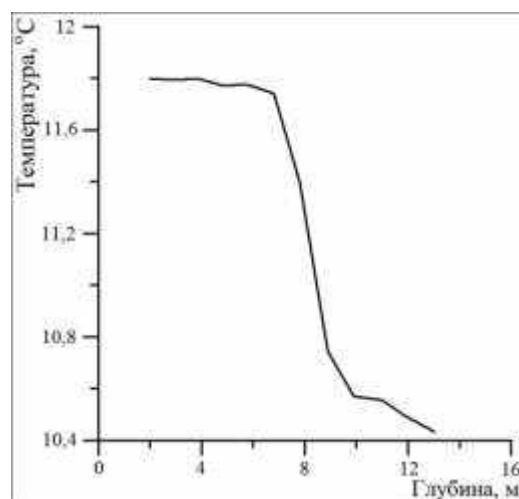


Рис. 5. Изменение температуры по профилю измерения в 15 ч 21 мин

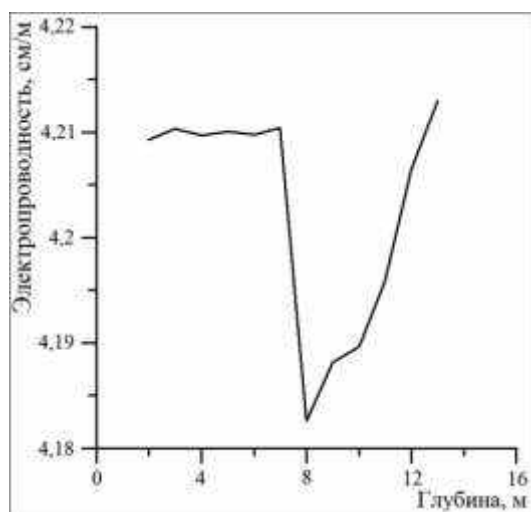


Рис. 6. Изменение электропроводности по профилю измерения в 15 ч 21 мин

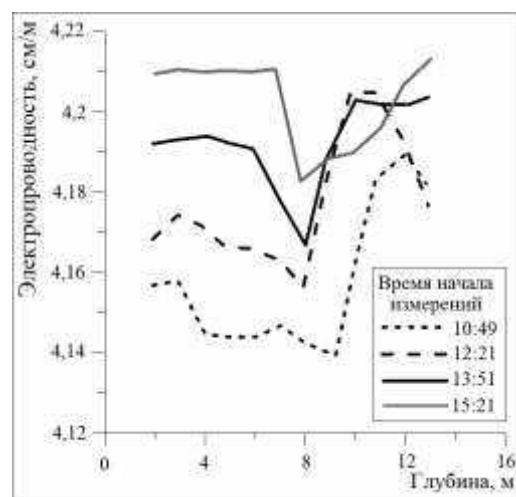


Рис. 7. Изменение электропроводности по одному профилю измерения в разное время

### Численное моделирование

Для численного моделирования был использован программный комплекс MITgcm (<http://mitgcm.org/>). Стоит отметить, что авторы неоднократно использовали результаты натурных экспериментов и численного моделирования для исследования прибрежной зоны о. Сахалин [1, 2]. Он предназначен для изучения геогидродинамических процессов широкого спектра масштабов: от конвекции в небольших водоёмах (в том числе и в опытных лотках) и до глобальных циркуляционных структур и термохалинных течений.

Благодаря двухуровневой архитектуре, разделяющей реализацию численной схемы и уникальный программный интерфейс для организации распределенных вычислений, комплекс MITgcm обладает уникальной гибкостью и переносимостью на различные вычислительные платформы. Используемая система позволяет описывать динамику несжимаемой жидкости в уравнениях Навье-Стокса с учетом приближения Буссинеска в пространстве размерности 3+1 [3–5]. Используемый комплекс позволяет учитывать негидростатическое давление, что значительно увеличивает точность расчетов эволюции нелинейных волновых процессов.

Рассматриваемый программный продукт является общепризнанным среди научного



сообщества и уже не раз использовался для моделирования динамики закрытых, полузакрытых водоемов и заливов, например, в Бискайском заливе [6] или в озере Каюга [7].

Используя имеющиеся данные, а также информацию о сезонных колебаниях параметров водной среды из [8, 9], было проведено моделирование эволюции внутренней среды озера на протяжении четырёх приливных циклов.

Относительное распределение скоростей показано на рис. 8. Видно, что максимальные придонные скорости наблюдаются в узком месте озера, что также объясняется особенностью батиметрии. В данном месте наименьшее расстояние между берегами и меньшие глубины, южнее и севернее расположены впадины, что объясняет характер распределения солёности (рис. 9). Стоит отметить, что эти скорости с вероятностью 0.5 превышают скорость приливного потока.

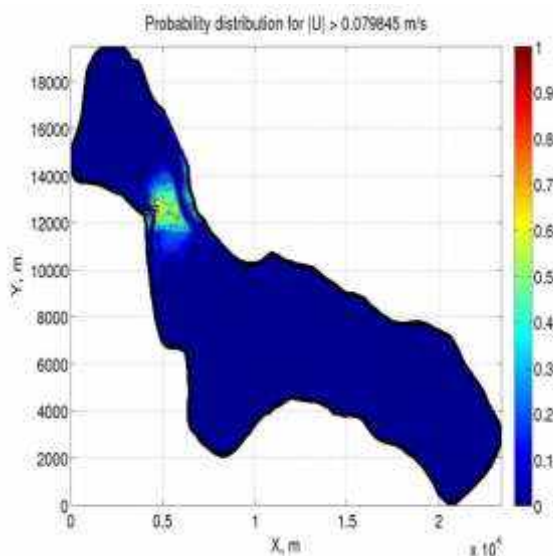


Рис. 8. Вероятность превышения придонной скорости порогового значения приливного потока ( $U > 0.079$  м/с)

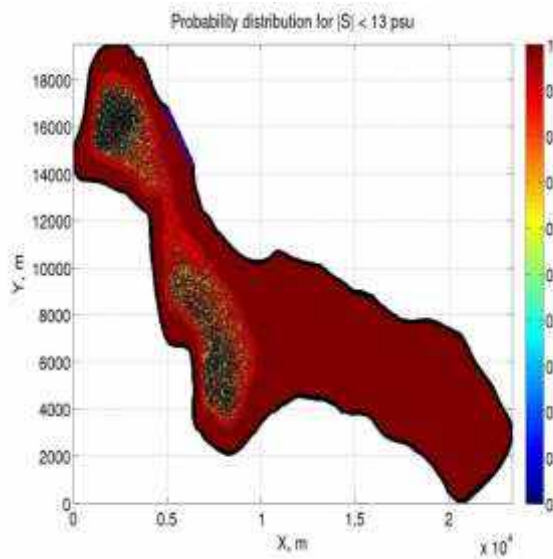


Рис. 9. Вероятность падения средней солёности в столбе жидкости ниже 13 ‰ за время расчетов

На рис. 10 изображено распределение профиля температуры по центру озера, обозначенного линией на рис. 11. Данное распределение показывает, что температура на поверхности в районе узкого места озера на 2-3 градуса ниже, чем на соседних участках. Причиной этого является перемешивающий эффект приливного потока.

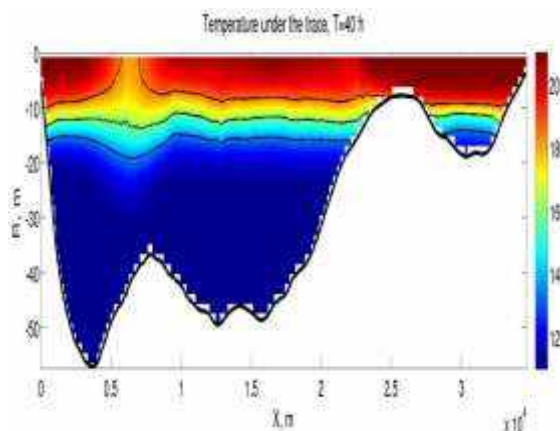


Рис. 10. Распределение профиля температуры

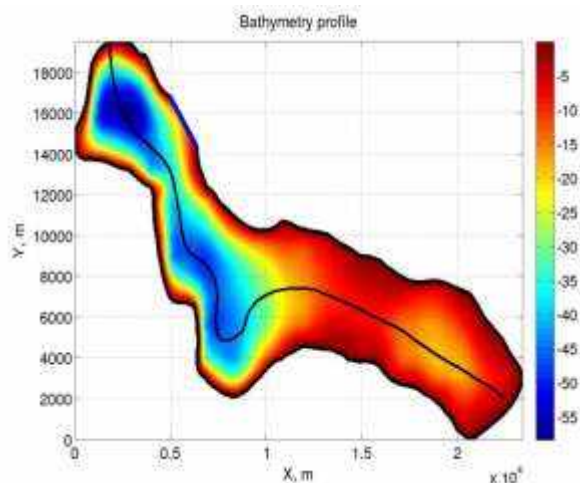


Рис. 11. Батиметрия озера Тунайча: черной кривой обозначен профиль, под которым проводился замер гидрологических параметров в численной модели

На рис. 12 показано распределение солёности под тем же профилем рис. 11. Как и для температуры, здесь наблюдается расплывание халоклина под действием поля приливного течения, что вызывает поднятие солёной жидкости ближе к поверхности озера.

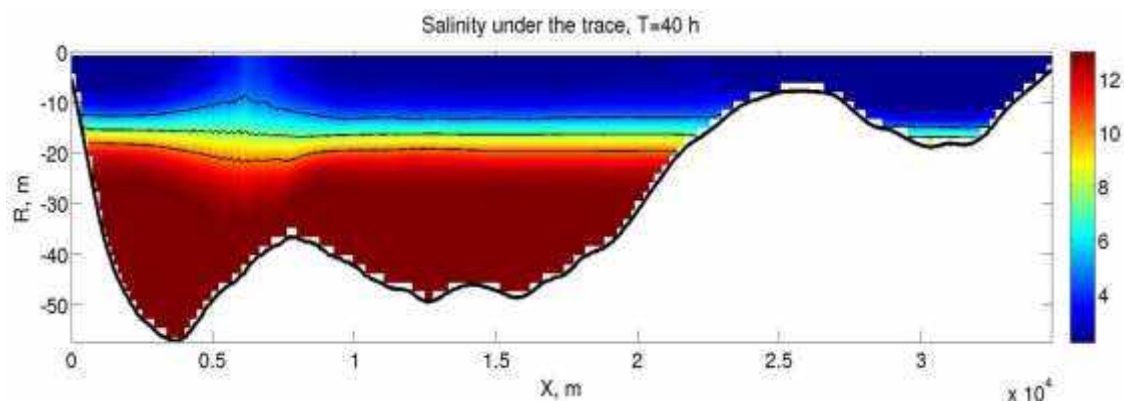


Рис. 12. Распределение профиля солёности

### Выводы

В данной работе представлена отработанная методика измерений гидрологических параметров в толще жидкости (от поверхности до дна) в заданных горизонтах в сложных гидрологических условиях. В результате проведённых измерений получены уникальные данные для этого района, многие впервые. Используя эти данные, с помощью программного комплекса MITgcm было проведено численного моделирование распределения гидрологических параметров в озере Тунайча. Получено распределение солёности, температуры и скоростей течений в озере. Анализ показал увеличение температуры, солёности и скорости течений в узком месте озера, к северу и югу от которого расположены впадины. Полученные результаты будут использованы для понимания особенностей циркуляции вод в озере и его водообмена озера с морем.

*Представленные результаты поисковой научно-исследовательской работы получены в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы» (соглашение № 14.В37.21.0642), при поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым СП-1935.2012.5, стипендии Президента Российской Федерации для обучения за рубежом студентов и аспирантов российских вузов в 2013/2014 учебном году, грантов РФФИ 11-05-00216-а, 11-05-92002, 13-05-97037 и МК-5222.2013.5, гранта Правительства Сахалинской области для молодых учёных.*

### Библиографический список

1. **Зайцев, А.И.** Невельское цунами 2 августа 2007 года: инструментальные данные и численное моделирование / А.И. Зайцев [и др.] // Доклады Академии наук. 2008. Т. 421. № 2. С. 249 – 252.
2. **Зайцев, А.И.** Моделирование распространения катастрофического цунами (26 декабря 2004 г.) в Индийском океане / А.И. Зайцев [и др.] // Доклады Академии наук. 2005. Т. 402. № 3. С. 388-392.
3. **Adcroft, A.** The MITgcm User Manual. MIT Department of EAPS / A. Adcroft [et al.] – Cambridge, MA, 2008. – 464 p.
4. **Marshall, J.** A finite-volume, incompressible navier stokes model for studies of the ocean on parallel computers / J. Marshall [et al.] // J. Geophysical Res. 1997. V. 102(C3). P.5753–5766.
5. **Marshall, J.** Hydrostatic, quasi-hydrostatic, and nonhydrostatic ocean modeling / J. Marshall, C. Hill, L. Perelman, A. Adcroft // J. Geophysical Res. 1997. V. 102(C3). P. 5733–5752.
6. **Grisouard, N.** Numerical simulations of the local generation of internal solitary waves in the Bay of Biscay / N. Grisouard, C. Staquet // Nonlin. Processes Geophys. V. 17. 2010. P. 575–584
7. **Boegman, L.** Three-dimensional simulation of NLIW generation, propagation and breaking in



- Cayuga Lake / L. Boegman, A. Dorostkar // 7th Int. Symp. on Stratified Flows. 2011. P. 1–8.
8. **Лабай, В.С.** Состав, структура и сезонная динамика макробентоса озера Тунайча (Южный Сахалин) / В.С. Лабай, М.Г. Роготнев // Чтения памяти В.Я. Леванидова. 2005. В. 3. С. 62–94.
  9. **Заварзин, Д.С.** Некоторые вопросы сезонной динамики зоопланктона озера Тунайча (Южный Сахалин) на современном этапе // Чтения памяти В.Я. Леванидова. 2005. В. 3. С. 95–105.

*Дата поступления  
в редакцию 26.12.2013*

**A.I. Zaytsev<sup>1,3</sup>, S.V. Semin<sup>2,4</sup>, I.S. Kostenko<sup>1,2</sup>**

## **NATURAL MEASUREMENTS AND NUMERICAL MODELING OF HYDROLOGICAL PARAMETERS OF TUNAICHA LAKE**

Special Research Bureau for Automation of Marine Researches Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia<sup>1</sup>  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>2</sup>,  
Institute of Applied Physics Russian Academy of Science, Nizhny Novgorod<sup>3</sup>  
University of Southern Queensland, Toowoomba, Australia<sup>4</sup>

**Purpose:** studying of water exchange between Tunaicha lake with the Okhotsk sea. Search of ways of improvement of water exchange in the lake.

**Scientific approach:** development of autonomous probing measuring system with use AANDERAA sensors. Measurement of hydrological parameters of water in the set horizons in northern part of Tunaicha lake. Using data of measurements was done numerical modeling of distribution of sea water in the lake by means of the program MITgcm complex. The analysis of results of supervision and numerical modeling is carried out.

**Result:** with use numerical modeling data, was prepared distribution of hydrological parameters throughout four tidal cycles. The analysis showed that the maximum speeds of a current are observed in a lake bottleneck (the smallest distance between coast and smaller depths in comparison with other part of the lake); temperature on a surface around a bottleneck of the lake is 2-3 degrees lower, than on the next sites; the increase in salinity in this place is observed. It can show about lifting of deep layers of water in this area.

**Novelty:** as a result of carrying out measurements was taken hydrological parameters in the thickness of liquid from a surface to the bottom in the set horizons unique data for this area, many of which are obtained for the first time. With use numerical modeling was received distribution of salinity, temperature and speeds of currents that will be used for understanding of features of circulation of waters in the lake and its water exchange with the sea.

**Key words:** the autonomous probe measurement system, Tunaicha lake, the center of the collection and processing of data, numerical modeling.

УДК 532.59:629.12

С.А. Химич, Ю.Ф. Орлов

## ЗАДАЧА О ДВИЖЕНИИ КРЫЛА ЗА ДИСКОМ ДИПОЛЕЙ НАД ТВЁРДОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Цель:** Создание математической модели, описывающей движение крыла за диском диполей на малом отстоянии от твердой поверхности, и оценка особенностей их взаимного влияния.

**Методология:** В основе создаваемой математической модели лежит линейная задача о движении крыла за диском диполей на малом отстоянии от твёрдой поверхности. Линейная постановка и малость отстояния крыла от опорной поверхности позволяют эффективно использовать методы квадрупольной теории крыла вблизи экрана.

**Результаты:** Проведен анализ влияния диска диполей на характеристики потока под низколетящим крылом. Получены формулы для расчета вызванных диском диполей скоростей потока под крылом. Выполнены расчеты коэффициента влияния диска диполей на подъемную силу прямоугольного бестелесного крыла в зависимости от угла атаки крыла.

**Область применения:** Полученное решение позволило оценить на модельном примере, близком к реальному объекту, работоспособность предложенной математической модели и возможность ее использования при проектировании экранопланов.

*Ключевые слова:* экраноплан, низколетящее крыло, диск диполей, квадрупольная теория крыла, коэффициент подъемной силы.

Использование поддува под крыло является характерной особенностью всех компоновок экранопланов Р.Е. Алексеева [1]. Основная цель – увеличение подъемной силы на крыле на взлётных режимах. Физическая картина процесса движения крыла в струе от движителя рассматривалась ранее [2], однако особенности работы комплекса «двигатель – крыло экраноплана» практически не изучены. Задачу можно разделить на полную постановку, когда рассматривается движение крыла за турбулентной струей от движителей, и упрощенную – в рамках линейной модели для невязкой жидкости.

В свою очередь, полная постановка сейчас замкнулась на чисто экспериментальные исследования и полуэмпирические оценки, существенно обуженные связью с разработкой конкретных проектов. Кардинально решает проблему дискретизация задачи о движении в вязком потоке крыла и некоторого генератора турбулентной струи над свободной поверхностью тяжелой жидкости, но такая полная постановка сейчас видится маловероятной.

Рассмотрим задачу о движении системы «крыло – диск диполей» над твёрдой поверхностью. Пусть тонкое прямоугольное крыло, имеющее хорду  $2a$  и размах  $2b$ , и диск диполей  $D$ , ось которого наклонена к направлению движения системы под углом  $\beta$ , движутся в направлении положительных значений оси  $x$  с постоянной скоростью  $v_0$  на высоте  $h$  над опорной поверхностью (рис. 1).

Форма поверхности крыла задана уравнением  $S(x, y, z) \equiv z - f^\pm(x, y) = 0$ . Диск  $D$  - генератор известного скачка давления, имеет радиус  $R$ . Координаты его центра  $O_1$  известны и заданы в системе координат, связанных с крылом (рис. 1):  $x = a_d$ ,  $y = b_d$ ,  $z = c_d$ .

Предполагая малость возмущений, вносимых системой в поток, и возможность в связи с этим оставаться в рамках линейной модели, для решения задачи будем использовать функцию потенциала ускорений  $\theta(x, y, z)$ , связанную с давлением  $p(x, y, z) = \rho \cdot \theta(x, y, z)$ , где  $\rho$  – плотность жидкости, которая предполагается невязкой и несжимаемой. Связь потенциала ускорений  $\theta(x, y, z)$  с потенциалом скоростей  $\phi(x, y, z)$  в стационарных задачах дается соотношениями

$$\varphi = N_0 \theta, \quad \theta = N_0^{-1} \varphi,$$

$$\text{где } N_0 = -\frac{1}{v_0} \int_{-\infty}^x [\cdot] d\tau, \quad N_0^{-1} = -v_0 \frac{\partial}{\partial x}.$$

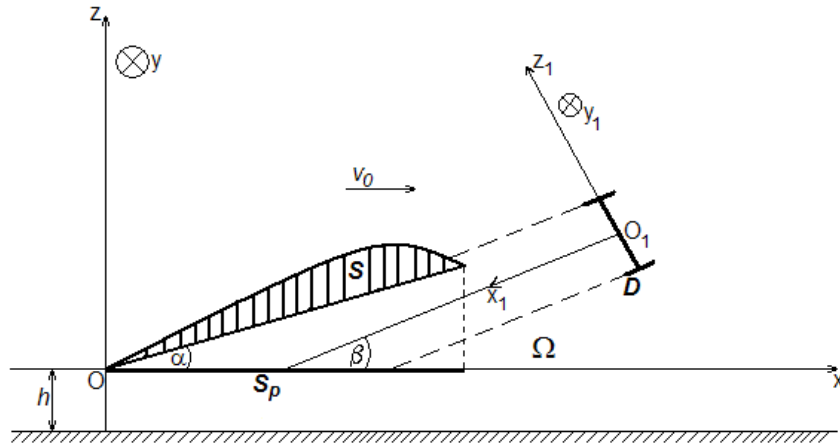


Рис. 1. Геометрия и постановка задачи

Пусть относительная толщина  $\delta$  крыла мала:  $\delta = [f] = (f^+ - f^-)/2a \ll 1$ . Местные углы атаки крыла также малы:  $\alpha(x, y) = f^\alpha = (\frac{\partial f^+}{\partial x} + \frac{\partial f^-}{\partial x})/2 \ll 1$ . Тогда рассматриваемая задача может быть сформулирована как краевая для уравнения Лапласа от функции потенциала ускорений с соответствующими краевыми условиями:

$$\Delta \theta = 0, \quad q \in \Omega; \quad (1)$$

где  $\theta_n = F(q)$ ,  $q \in S_p$ ;  $\frac{\partial}{\partial z} \theta = 0$ ,  $z = -h$ ;  $[\theta] = 0$ ,  $x = 0$ ,  $z = 0$ ;  $[\theta] = \frac{P_d}{\rho}$ ,  $q \in D$ ;  $\nabla \theta \rightarrow 0$ ,  $x \rightarrow +\infty$ ,

где  $q = (x, y, z)$ ,  $\Omega$  – пространство, занятое жидкостью (рис. 1);  $F(q) = N_0^{-1}(F_1(q))$ , где  $F_1(q)$  – нормальная составляющая скорости точек на крыле;  $S_p$  – проекция поверхности  $S$  на плоскость  $xu$ ;  $P_d$  – скачок давления в диске  $D$ .

Пусть  $\varphi(x, y, z)$  – потенциал скорости возмущенного движения жидкости, полученный при решении краевой задачи (1.1). Так как рассматривается линейная задача, то его можно представить в виде двух составляющих

$$\varphi(x, y, z) = \varphi^s(x, y, z) + \varphi^d(x, y, z), \quad (2)$$

где  $\varphi^s(x, y, z)$  – потенциал скорости обтекания крыла,  $\varphi^d(x, y, z)$  – потенциал скорости обтекания диска диполей. Почти всюду в окрестности комплекса «крыло – диск диполей» предполагаются справедливыми оценки

$$\begin{aligned} \|\nabla \varphi^s\|_{C^2(\Omega)} &\sim O(\varepsilon), \quad \varepsilon \ll 1; \\ \|\nabla \varphi^d\|_{C^2(\Omega)} &\sim O(1). \end{aligned}$$

Нормальная составляющая скорости точек крыла в абсолютном движении равна

$$\nabla(-v_0 x + \varphi) \nabla S = 0, \quad q \in S,$$

откуда  $\varphi_z = (-v_0 + \varphi_x) f_x + \varphi_y f_y$ .

Тогда, учитывая (2) и пренебрегая произведением производных от  $\varphi^s$  и  $f$  как малы-ми более высокого порядка, получим

$$\varphi_z^s = F_1(q) \equiv (-v_0 + \varphi_x^d) f_x + \varphi_y^d f_y - \varphi_z^d. \quad (3)$$

Здесь  $\varphi_x^d$ ,  $\varphi_y^d$ ,  $\varphi_z^d$  - соответственно, продольная, поперечная и вертикальная составляющие скорости на  $S_p$ , вызванной диском диполей.

Рассмотрим случай движения бестелесного крыла. Будем искать решение задачи (1) в виде суммы интегральных операторов типа потенциала двойного слоя:

$$\theta = A\gamma + A\gamma_d,$$

где

$$A\gamma_d = \frac{1}{4\pi} \int_D \gamma_d(p_1) \frac{\partial G(p_1, q_1)}{\partial x_1} ds_1, \quad (4)$$

$$A\gamma = \frac{1}{4\pi} \int_{S_p} \gamma(p) \frac{\partial G(p, q)}{\partial z} ds, \quad G(p, q) = \frac{1}{r} + \frac{1}{r_1}, \quad r = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta)^2},$$

$$r_1 = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z + \zeta + 2h)^2},$$

где  $p = (\xi, \eta, \zeta) \in S_p$ ;  $\gamma$ ,  $\gamma_d$  - скачки давления на поверхностях  $S_p$  и  $D$  соответственно;  $p_1$ ,  $q_1$  - координаты в системе координат, связанной с диском диполей с началом в его центре. Такая постановка избавляет от необходимости вводить условия для определения собственных функций, появляющихся в линейных задачах.

Для восстановления сингулярных решений в (1) следует перейти в пространство потенциала скоростей. Введя безразмерные величины по формулам  $x = \bar{x} \cdot a$ ,  $y = \bar{y} \cdot b$ ,  $z = \bar{z} \cdot a$ ,  $h = \bar{h} \cdot 2a$ ,  $\lambda = b/a$ ,  $R = \bar{R} \cdot b$ ,  $P = \bar{P} \cdot \rho \cdot v_0^2$ ,  $\gamma = \bar{\gamma} \cdot v_0^2$  (черточки далее опущены, кроме относительного отстояния  $\bar{h}$ ), получим двумерное сингулярное по одной переменной интегральное уравнение, характерное в теории крыла

$$N_0 A_z \gamma = (-v_0 + \varphi_x^d) f_x^{cp} + \varphi_y^d f_y^{cp} - \varphi_z^d, \quad (5)$$

где  $\varphi^d = N_0 A\gamma_d$ ,  $f^{cp} = (f^+ + f^-)/2$ .

Таким образом, влияние диска диполей на характеристики крыла в линейной задаче проявляется в изменении правой части интегрального уравнения и имеет смысл динамической кривизны потока жидкости перед крылом.

Вычислим в явном виде функцию

$$\varphi^d = N_0 A\gamma_d = -\frac{1}{v_0} \int_{-\infty}^x A\gamma_d(\tau, y, z, \xi, \eta, \zeta) d\tau.$$

Для этого представим интегральный оператор (4) в системе координат, связанной с крылом. Связь систем координат  $Oxyz$  и  $O_1x_1y_1z_1$  задается соотношениями

$$x = x_1 \cos \beta - z_1 \sin \beta + a_d;$$

$$y = y_1 + b_d;$$

$$z = x_1 \sin \beta + z_1 \cos \beta + c_d$$

и

$$x_1 = (x - a_d) \cos \beta + (z - c_d) \sin \beta;$$

$$y_1 = y - b_d;$$

$$z_1 = -(x - a_d) \sin \beta + (z - c_d) \cos \beta.$$

С учетом этих связей делаем в (4) замену переменных  $p_1 \rightarrow p$ ,  $q_1 \rightarrow q$ . В результате получим

$$A\gamma_d = \frac{1}{4\pi} \int_{-R}^R \int_{-\lambda_0 \sqrt{R^2 - y_1^2}}^{\lambda_0 \sqrt{R^2 - y_1^2}} \gamma_d(p_1) \frac{\partial G(p_1, q_1)}{\partial x_1} d\zeta_1 d\eta_1 = \frac{1}{4\pi} \left\{ \int_{b_d - R}^{b_d + R} \int_{-\lambda_0 \sqrt{R^2 - (\eta - b_d)^2} \cos \beta + c_d}^{\lambda_0 \sqrt{R^2 - (\eta - b_d)^2} \cos \beta + c_d} \gamma_d(p) \times \right.$$

$$\times \left[ \cos^2 \beta \frac{\partial G(p, q)}{\partial \xi} + \sin \beta \cos \beta \frac{\partial G(p, q)}{\partial \zeta} \right] d\zeta d\eta \Big|_{\xi=a_d+(c_d-\zeta)\operatorname{tg}\beta} +$$

$$+ \int_{b_d-R}^{b_d+R} \int_{-\lambda_0 \sqrt{R^2-(\eta-b_d)^2} \sin \beta + a_d}^{\lambda_0 \sqrt{R^2-(\eta-b_d)^2} \sin \beta + a_d} \gamma_d(p) \times \left[ \sin \beta \cos \beta \frac{\partial G(p, q)}{\partial \xi} + \sin^2 \beta \frac{\partial G(p, q)}{\partial \zeta} \right] d\zeta d\eta \Big|_{\zeta=c_d+(a_d-\xi)\operatorname{ctg}\beta} \Bigg\}.$$

Рассматривая далее случай постоянного скачка давления в диске  $D$  диполей, можно представить  $N_0 A \gamma_d$  в виде

$$N_0 A \gamma_d = \frac{\gamma_d}{4\pi} \cdot \int_{b_d-R}^{b_d+R} [\cos^2 \beta \cdot J_1 + \sin \beta \cdot \cos \beta \cdot (J_2 + J_3) + \sin^2 \beta \cdot J_4] d\eta, \quad (6)$$

где  $J_1, J_2, J_3, J_4$  – комбинация рациональных, логарифмических и тригонометрических функций – результат вычисления двух внутренних интегралов по  $\tau$  и  $\xi$  (из-за громоздкости выражений результат вычислений не приведён).

Используя полученную формулу (6), был выполнен расчет вызванных скоростей  $\varphi_x^d, \varphi_y^d, \varphi_z^d$  от диска диполей в плоскости  $S_p$  в модельном примере для бестелесного прямоугольного крыла с параметрами  $\lambda=1, a_d=3.0, b_d=0.0, c_d=0.3, \alpha=5^\circ, \beta=10^\circ, R=0.267, \bar{h}=0.015, Fr=2.711, \gamma_d=-12.631$ . Эти параметры близки к характеристикам судна на динамической воздушной подушке (СДВП) «Волга-2».

На рис. 2–4 представлены результаты расчета продольной, поперечной и вертикальной составляющих скорости, вызванной диском диполей.

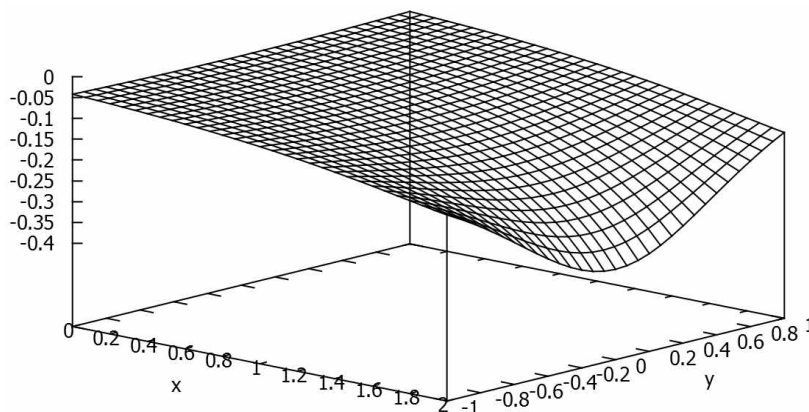


Рис. 2.  $\varphi_x^d$  – продольная составляющая скорости, вызванной диском диполей

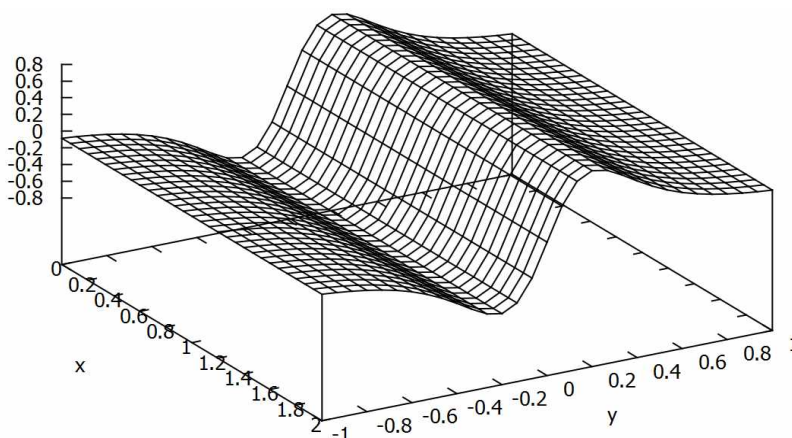


Рис. 3.  $\varphi_y^d$  – поперечная составляющая скорости, вызванной диском диполей

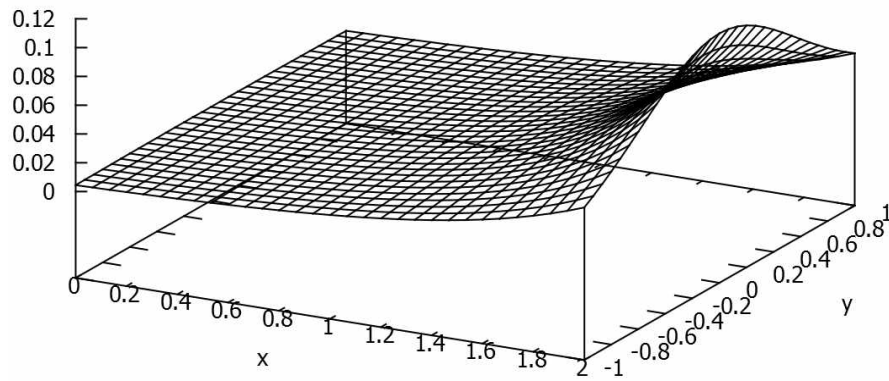


Рис. 4.  $\varphi_z^d$  - вертикальная составляющая скорости, вызванной диском диполей

Из [3] известно, что интегральное уравнение вида (5) сводится к краевой задаче для уравнения Пуассона. В нашем случае краевая задача для уравнения Пуассона будет иметь вид

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{1}{\lambda^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \Phi(x, y) = \frac{\alpha \cdot (-1 + \varphi_x^d) - \varphi_z^d}{4 \cdot \bar{H} \cdot \lambda^2}, \quad (7)$$

где  $\Phi(x, y) = \int_x^2 \gamma(\tau, y) d\tau$ ;  $\bar{H} = h/2b$ ;  $x \in [0, 2]$ ;  $y \in [-1, 1]$ ;  $\Phi(x, \pm 1) = \Phi(2, y) = 0$ ;  $\frac{\partial \Phi(0, y)}{\partial x} = 0$ .

Решив (7), можно найти  $\gamma(x, y) = -\frac{\partial \Phi(x, y)}{\partial x}$  – распределение плотности двойного слоя  $\gamma$  по поверхности  $S_p$ . После этого можно найти [3] коэффициент  $C_y$  подъемной силы крыла по формуле

$$C_y = \lambda \cdot \int_{-1}^1 \int_0^2 \gamma(\xi, \eta) d\xi d\eta. \quad (8)$$

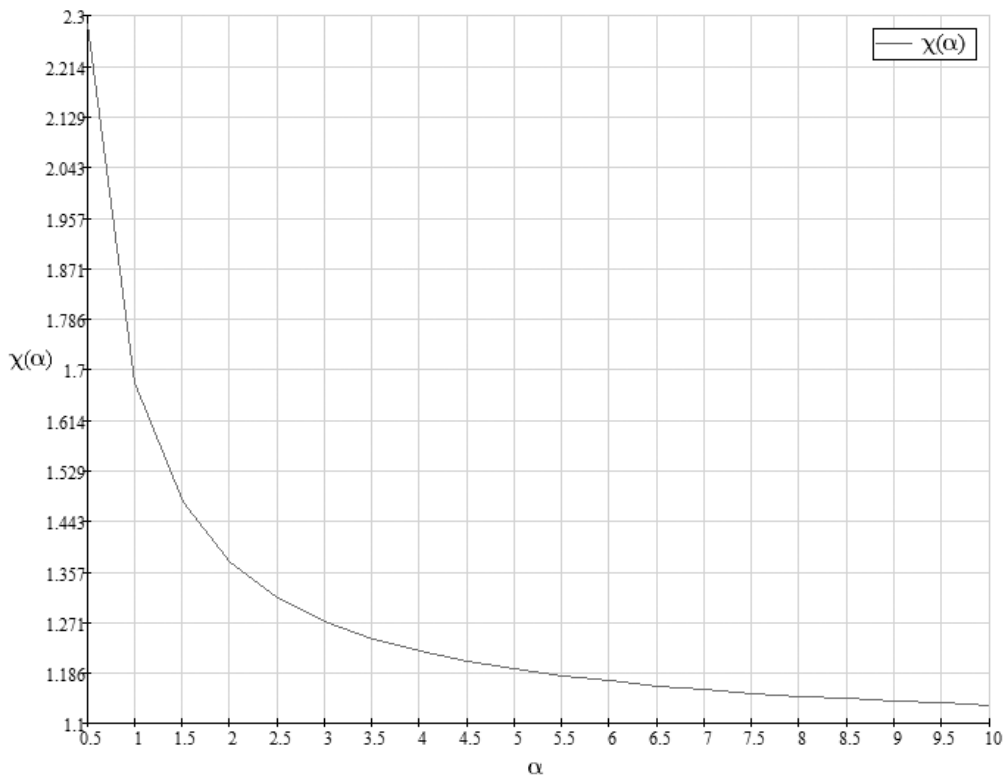


Рис. 5.  $\chi(\alpha)$  - коэффициент влияния диска диполей на подъемную силу прямоугольного бестелесного низколетящего крыла в зависимости от угла атаки крыла

Используя те же параметры, что и для расчета составляющих вызванных скоростей (кроме углов атаки крыла, которые брались из промежутка  $\alpha \in [0.5^\circ, 10^\circ]$ ), было найдено численное решение серии краевых задач (7) для уравнения Пуассона [4]. После этого по формуле (8) был произведен расчет зависимости коэффициента  $C_y^D(\alpha)$  подъемной силы крыла от угла атаки в присутствии диска диполей. Также был произведен расчет зависимости коэффициента  $C_y(\alpha)$  подъемной силы от угла атаки крыла с такими же параметрами, но в отсутствии диска диполей. Была введена функция  $\chi(\alpha) = \frac{C_y^D(\alpha)}{C_y(\alpha)}$ , которая имеет смысл коэффициента влияния диска диполей на подъемную силу крыла в зависимости от угла атаки. График функции  $\chi(\alpha)$  представлен на рис. 5.

Выполненные расчёты показали, что вызванные диском диполей скорости при удалении от диска относительно быстро стремятся к нулю, однако в целом влияние диска на коэффициент подъёмной силы заметно (даже велико) и тем больше, чем меньше угол атаки крыла.

#### Библиографический список

1. **Соколов, В.В.** Новое поколение крылатых судов // Судостроение. 1991. №1.
2. **Орлов, Ю.Ф.** Приближённый расчёт подъёмной силы крыла вблизи опорной поверхности в струе от движителя // В кн.: Асимптотические методы в теории систем. Иркутский научный центр СО АН СССР, 1990.
3. **Панченков, А. Н.** Квадрупольная теория крыла вблизи твердой границы // В кн.: Асимптотические методы в динамике систем. – Новосибирск: Наука, 1980, С. 5–116.
4. **Мэтьюз, Д. Г.** Численные методы. Использование MATLAB: [пер. с англ.] / Д.Г. Мэтьюз, Д.Ф. Куртис. – 3-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 720 с.

Дата поступления  
в редакцию 05.02.2014

S. Khimich, Y. Orlov

#### THE PROBLEM OF THE MOTION OF WING BEHIND DIPOLE DISC ABOVE SOLID SURFACE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The goal of this study is to create mathematical model describing the motion of the wing behind dipole disc at the small height above the solid surface and to evaluate their interference.

**Approach:** Proposed mathematical model is based on linear problem of the motion of wing behind dipole disc at the small height above the solid surface. Linear formulation of the problem and the small height above the solid surface allow us to use methods of quadrupole theory of the wing very efficiently.

**Findings:** The study analyzed influence of the dipole disc on the performances of air flow under low-flying wing. Some formulas for calculating the velocity of air flow under low-flying wing were obtained. Obtained results allowed us to calculate influence coefficient of dipole disc on the wing lift for different angles of attack.

**Value:** Obtained results allow us to evaluate efficiency of proposed mathematical model on the example which is very close to real object. Thus, proposed mathematical model may be useful in hovercrafts development and in airfoil boats development.

*Key words:* airfoil boat, low-flying wing, dipole disc, the quadrupole theory of the wing, lift coefficient.

# ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.3.513

Е.А. Никулин

## О РАЗРЕШИМОСТИ ЗАДАЧИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Тема работы:** Исследование разрешимости задачи полиномиальной циклической интерполяции.**Цель работы:** Получение условий разрешимости задачи интерполяции линиями разных типов.**Метод решения:** Вывод и анализ определителей обрабатываемых матриц.**Оригинальность:** Использован блочный метод синтеза интерполяционных линий.**Выводы:** Получены правила выбора исходных данных, делающих задачу интерполяции разрешимой.*Ключевые слова:* полином, интерполяция, сегмент, сопряжение, матрица, определитель.

Данная работа продолжает серию статей [1, 2], посвященных блочному методу конструирования интерполяционных линий. На этот раз мы займемся *циклическими* линиями, у которых, кроме *необязательного* совпадения крайних точек, должны быть равны касательные векторы, что дает первый порядок гладкости замыкания, а для получения гладкости второго порядка должны быть равны еще и значения кривизны.

Рассмотрим применение блочного метода и проблемы, возникающие при создании циклических полиномиальных линий различных типов и порядков гладкости.

### Односегментные циклические линии

Обозначим как  $\mathbf{T}_m(t) = [1 \ t \ t^2 \ \dots \ t^m]^T$  вектор базовых функций (степеней параметра  $t$ ) разложения полинома  $m$ -й степени, а векторы первых двух его производных как  $\mathbf{T}'_m(t) = [0 \ 1 \ 2t \ \dots \ mt^{m-1}]^T$  и  $\mathbf{T}''_m(t) = [0 \ 0 \ 2 \ \dots \ m(m-1)t^{m-2}]^T$ . Запишем векторную функцию линии в пространстве ее координат в виде параметрического полинома

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{s}_0 + \mathbf{s}_1 t + \dots + \mathbf{s}_m t^m = \mathbf{S} \mathbf{T}_m(t) \quad (1)$$

с блочным вектором коэффициентов  $\mathbf{S} = [\mathbf{s}_0 \ \mathbf{s}_1 \ \dots \ \mathbf{s}_m]$ . Дифференцируя (1) по  $t$ , получим векторы скорости  $\mathbf{V}(t) = \mathbf{S} \mathbf{T}'_m(t)$  и ускорения  $\mathbf{A}(t) = \mathbf{S} \mathbf{T}''_m(t)$  движения точки по линии  $\mathbf{p}(t)$  в момент времени  $t$ .

Линия, проходящая через заданные точки  $\mathbf{u}_0, \mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n$  в порядке их нумерации, удовлетворяет условиям интерполяции  $\mathbf{S} \mathbf{T}_m(t_i) = \mathbf{u}_i \ \forall i = \overline{0, n}$ . Они образуют блочное векторно-матричное уравнение

$$\mathbf{S} [\mathbf{T}_m(t_0) \ \mathbf{T}_m(t_1) \ \dots \ \mathbf{T}_m(t_n)] = [\mathbf{u}_0 \ \mathbf{u}_1 \ \dots \ \mathbf{u}_n], \text{ или } \mathbf{S} \mathbf{W} = \mathbf{U} \quad (2)$$

с матрицей  $\mathbf{W} = \mathbf{W}_{mn}$ , равной матрице Вандермонда  $\mathbf{W}_{mn} = [\mathbf{T}_m(t_0) \ \mathbf{T}_m(t_1) \ \dots \ \mathbf{T}_m(t_n)]$ , составленной из  $m+1$ -й степеней  $n+1$ -го узлового отсчета параметра  $t$ , и вектором  $\mathbf{U} = \mathbf{U}_n$ , равным блочному вектору  $\mathbf{U}_n = [\mathbf{u}_0 \ \mathbf{u}_1 \ \dots \ \mathbf{u}_n]$ , составленному из  $n+1$ -й узловой точки.

Актуальны два метода задания узловых значений  $t_0 \div t_n$  ( $t_0$  задается свободно):

- *хордовый*, в котором приращение параметра  $t$  на межузловом интервале  $\mathbf{u}_{i-1} \div \mathbf{u}_i$  равно длине хорды  $d_i = |\mathbf{u}_i - \mathbf{u}_{i-1}|$  и, таким образом,  $t_i = t_{i-1} + d_i$ ;



- *нормализованный*, когда параметр  $t$  на каждом интервале увеличивается на 1 и, таким образом,  $t_i = t_0 + i$ . Это частный случай хордового метода со всеми значениями  $d_i = 1$ .

В отсутствие иных, кроме интерполяционных, ограничений степень полинома  $m=n$ , а решение матричного уравнения (2) дает блочный вектор коэффициентов

$$\mathbf{S} = \mathbf{U}\mathbf{W}^{-1}. \quad (3)$$

В циклической линии с гладким замыканием *первого* порядка должны быть равны векторы краевых направлений  $\mathbf{ST}'_m(t_n) = \mathbf{ST}'_m(t_0)$ . Это дополнительное ограничение повышает степень полинома до  $m=n+1$  и добавляет в матрицы уравнения (2) по одному столбцу:

$$\mathbf{W}^{(1)} = [\mathbf{W}_{mn} \mid \mathbf{T}'_m(t_n) - \mathbf{T}'_m(t_0)], \quad \mathbf{U}^{(1)} = [\mathbf{U}_n \mid \mathbf{O}]. \quad (4)$$

В циклической *дважды* замкнутой линии должны совпадать еще и векторы краевых ускорений  $\mathbf{ST}''_m(t_n) = \mathbf{ST}''_m(t_0)$ . В результате степень полинома увеличивается до  $m=n+2$ , а матрицы уравнения (2) расширяются еще одним дополнительным столбцом:

$$\mathbf{W}^{(2)} = [\mathbf{W}^{(1)} \mid \mathbf{T}''_m(t_n) - \mathbf{T}''_m(t_0)], \quad \mathbf{U}^{(2)} = [\mathbf{U}^{(1)} \mid \mathbf{O}]. \quad (5)$$

После формирования матриц  $\mathbf{W}$  и  $\mathbf{U}$  по (3) вычисляется вектор коэффициентов полинома  $\mathbf{S}$  и по (1) строится график  $\mathbf{p}(t)$  с желаемым шагом параметра  $t \in [t_0, t_n]$ . Для сравнения методов на рис. 1 построены три пары интерполяционных линий на трехинтервальной неравномерной узловой сетке  $\mathbf{u}_0\mathbf{u}_1\mathbf{u}_2\mathbf{u}_3$ : со свободными концами (рис. 1, а), с первым (рис. 1, б) и вторым (рис. 1, в) порядками гладкости замыкания. Сплошные линии построены нормализованным, а пунктирные — хордовым методами параметризации.

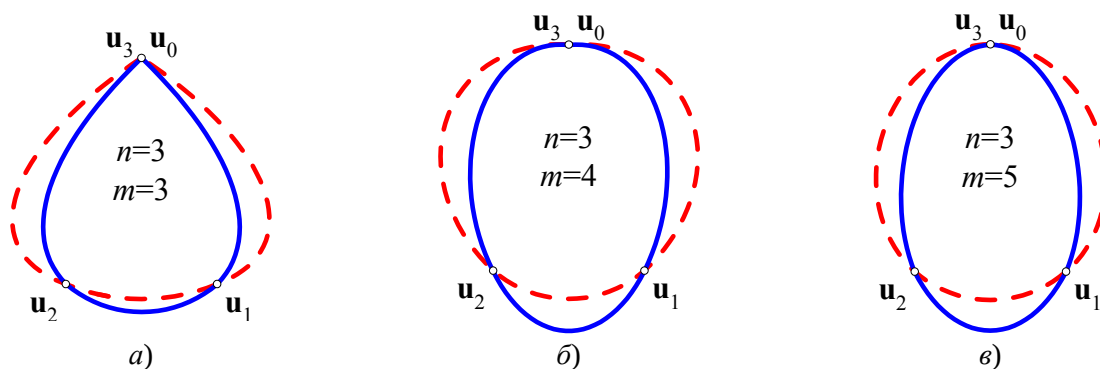


Рис. 1. Циклические интерполяционные линии

Казалось бы, нет проблем в работе достаточно простого алгоритма циклической интерполяции! Однако моделирование с разным числом и расположением узловых точек, а также разными методами параметризации, часто не давало никакого решения ввиду неожиданной сингулярности обращаемой в (3) матрицы  $\mathbf{W}$ .

Рассмотрим суть вопроса на простом примере проведения интерполанты через *три* (отсюда  $n=2$ ) узловые точки  $\mathbf{u}_0$ ,  $\mathbf{u}_1$  и  $\mathbf{u}_2$  с равными краевыми направлениями  $\mathbf{V}_0 = \mathbf{V}_2$  (отсюда  $m=3$ ). Начав с  $t_0=0$ , составим по (4) матрицу  $\mathbf{W}$  и вычислим ее определитель как функцию параметрических длин  $d_1=t_1 \neq 0$  и  $d_2=t_2-t_1 \neq 0$ :

$$\mathbf{W} = [\mathbf{W}_{32} \mid \mathbf{T}'_3(t_2) - \mathbf{T}'_3(0)] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & d_1 & d_1+d_2 & 0 \\ 0 & d_1^2 & (d_1+d_2)^2 & 2(d_1+d_2) \\ 0 & d_1^3 & (d_1+d_2)^3 & 3(d_1+d_2)^2 \end{bmatrix}, \quad |\mathbf{W}| = d_1 d_2 (d_1+d_2)^2 (d_2-d_1).$$

Следовательно, матрица  $\mathbf{W}$  вырождена, а задача интерполяции с циклической гладкостью *первого* порядка неразрешима в двух случаях равенства параметрических длин  $d_1=d_2$ :

- при *нормализованной* параметризации ( $d_1=d_2=1$ ) с произвольным расположением узлов;

- при *хордовой* параметризации с *равными* межузловыми расстояниями  $|\mathbf{u}_1 - \mathbf{u}_0| = |\mathbf{u}_2 - \mathbf{u}_1|$ .

Таким образом, построение двухинтервальной интерполянты с равными краевыми направлениями возможно только методом *хордовой* параметризации и при *разных* длинах отрезков  $\mathbf{u}_0\mathbf{u}_1$  и  $\mathbf{u}_1\mathbf{u}_2$  (рис. 2, а).

Этот вывод распространяется на все узловые сетки с *четным* числом интервалов. Например, при  $n=4$  у определителя  $|\mathbf{W}|$  один из множителей

$$(d_1^3 - d_4^3 + d_1 d_2 d_3 - d_2 d_3 d_4 + d_1 d_2^2 + d_1^2 d_3 - d_2 d_4^2 - d_3^2 d_4 + 2d_1^2 d_2 - 2d_3 d_4^2)$$

обнуляется при всех равных значениях  $d_1 = d_2 = d_3 = d_4$  и делает задачу неразрешимой.

Напротив, при *нечетных* значениях  $n$  матрица  $\mathbf{W}$  в (4) всегда невырождена, а задача циклической интерполяции первого порядка гладкости разрешима как нормализованным, так и хордовым методами параметризации. Например, на четырехузловой сетке с числом интервалов  $n=3$  получается определитель

$$|\mathbf{W}| = d_1 d_2 d_3 (d_1 + d_2)(d_2 + d_3)(d_1 + d_2 + d_3)^2 (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2 d_3 + d_3^2),$$

неравный нулю в обоих методах параметризации и при любом расположении узлов  $\mathbf{u}_0 \div \mathbf{u}_3$ , о чем свидетельствует гладко замкнутая линия на рис. 2, б.

Моделирование показывает, что увеличение порядка циклической гладкости до второго делает матрицу  $\mathbf{W}$  в (5) невырожденной при любом расположении узлов и в обоих методах параметризации. Например, при  $n=2$  и  $m=4$  она принимает вид

$$\mathbf{W} = [\mathbf{W}_{42} \quad \mathbf{T}_4'(t_2) - \mathbf{T}_4'(0) \quad \mathbf{T}_4''(t_2) - \mathbf{T}_4''(0)] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & d_1 & d_1 + d_2 & 0 & 0 \\ 0 & d_1^2 & (d_1 + d_2)^2 & 2(d_1 + d_2) & 0 \\ 0 & d_1^3 & (d_1 + d_2)^3 & 3(d_1 + d_2)^2 & 6(d_1 + d_2) \\ 0 & d_1^4 & (d_1 + d_2)^4 & 4(d_1 + d_2)^3 & 12(d_1 + d_2) \end{bmatrix}$$

и имеет всегда ненулевой определитель  $|\mathbf{W}| = -12d_1^2 d_2^2 (d_1 + d_2)^3$ , а полученная линия (пунктирная на рис. 2, а) отличается минимальными межузловыми осцилляциями.

Таким образом, рекомендуется всегда строить циклические линии с двойной гладкостью в конечных точках. При совпадении же этих точек линия автоматически станет замкнутой. Именно такая полиномиальная кривая 6-й степени с координатными функциями

$$x(t) = \frac{(1-t)(3-t)(24+32t+8t^2-8t^3+t^4)}{72}, \quad y(t) = \frac{t(2-t)(4-t)(16+12t-3t^2)}{75} \quad \forall t \in [0, 4] \quad (6)$$

проходящая через точки  $\mathbf{u}_0 = \mathbf{u}_4 = [1 \ 0]^T$ ,  $\mathbf{u}_1 = [0 \ 1]^T$ ,  $\mathbf{u}_2 = [-1 \ 0]^T$  и  $\mathbf{u}_3 = [0 \ -1]^T$ , построена на рис. 2, в. Максимальное отклонение ее точек от единичной окружности составляет 3%.

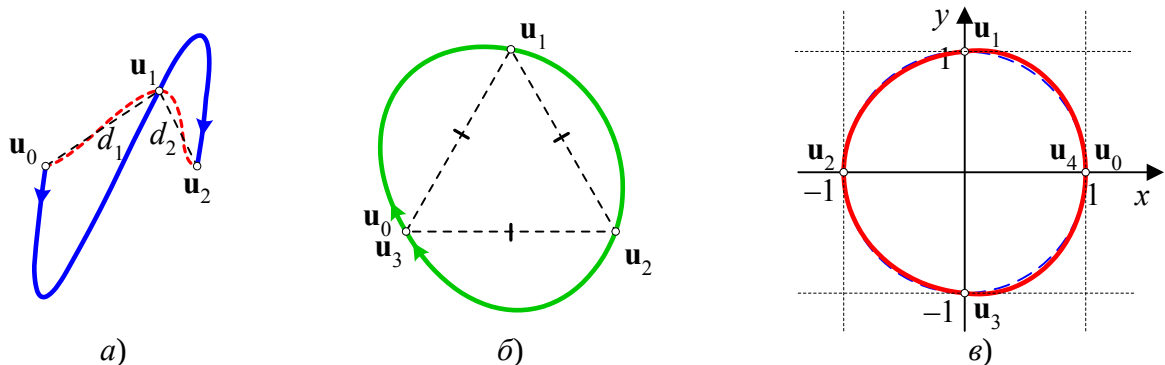


Рис. 2. Циклические интерполяционные линии

### Составные циклические линии

При большом числе узловых точек интерполяционные линии имеют сильные меж-узловые осцилляции, присущие полиномам высоких степеней. Полезным приемом, уменьшающим этот нежелательный эффект, является разбиение узловой сетки на кластеры с малым (не более  $4 \div 5$ ) числом интервалов, что позволяет создать различные свойства сопряжения сегментов, в том числе изломы и разрывы [1].

Пусть  $N$  – число сегментов составной линии и у каждого  $i$ -го сегмента  $n_i$  есть число интервалов кластера узловых точек  $\mathbf{U}_i = [\mathbf{u}_{i0} \ \mathbf{u}_{i1} \ \dots \ \mathbf{u}_{in_i}]$ , а  $m_i$  – степень полинома

$$\mathbf{p}_i(t) = \mathbf{S}_i \mathbf{T}_{m_i}(t) \quad \forall t \in \Delta_i = [t_{i0}, t_{in_i}], \quad i = \overline{1, N}$$

с блочным вектором коэффициентов  $\mathbf{S}_i = [\mathbf{s}_{i0} \ \mathbf{s}_{i1} \ \dots \ \mathbf{s}_{im_i}]$ . Применяются следующие методы локализации параметра составной линии:

- *локальный*, по которому изменение  $t$  на  $i$ -ом сегменте начинается со значения  $t_{i0} = 0$ ;
- *сквозной*, когда параметр проходит отрезки  $\Delta_1 \div \Delta_N$  с правилом сопряжения  $t_{in_i} = t_{i+1,0}$ .

Для вычисления по (3) блочного вектора  $\mathbf{S} = [\mathbf{S}_1 \ \mathbf{S}_2 \ \dots \ \mathbf{S}_N]$  коэффициентов полиномов всех сегментов циклической составной линии формируется матричное уравнение  $\mathbf{S}\mathbf{W} = \mathbf{U}$ , аккумулирующее следующие условия:

- интерполяции внутри каждого сегмента  $\mathbf{S}_i \mathbf{W}_{m_i n_i} = \mathbf{U}_i \quad \forall i = \overline{1, N}$ ;
- первого порядка гладкости сопряжения сегментов  $\mathbf{S}_i \mathbf{T}'_{m_i}(t_{in_i}) = \mathbf{S}_{i+1} \mathbf{T}'_{m_{i+1}}(t_{i+1,0}) \quad \forall i = \overline{1, N-1}$  и  $\mathbf{S}_N \mathbf{T}'_{m_N}(t_{N, n_N}) = \mathbf{S}_1 \mathbf{T}'_{m_1}(t_{1,0})$ , при этом их степени  $m_i = n_i + 1$ ;
- для получения второго порядка гладкости сопряжения сегментов добавляются условия  $\mathbf{S}_i \mathbf{T}''_{m_i}(t_{in_i}) = \mathbf{S}_{i+1} \mathbf{T}''_{m_{i+1}}(t_{i+1,0}) \quad \forall i = \overline{1, N-1}$  и  $\mathbf{S}_N \mathbf{T}''_{m_N}(t_{N, n_N}) = \mathbf{S}_1 \mathbf{T}''_{m_1}(t_{1,0})$ , при этом  $m_i = n_i + 2$ .

В результате блочные матрицы  $\mathbf{W}$  и  $\mathbf{U}$ :

- при первом порядке гладкости сопряжения всех сегментов  $\mathbf{W} = \mathbf{W}^{(1)}$  и  $\mathbf{U} = \mathbf{U}^{(1)}$ , где

$$\mathbf{W}^{(1)} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}_{m_1 n_1} & \mathbf{O} & \dots & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \mathbf{T}'_{m_1}(t_{1n_1}) & \dots & \mathbf{O} & -\mathbf{T}'_{m_1}(t_{10}) \\ \mathbf{O} & \mathbf{W}_{m_2 n_2} & \dots & \mathbf{O} & \mathbf{O} & -\mathbf{T}'_{m_2}(t_{20}) & \dots & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{O} & \mathbf{O} & \dots & \mathbf{W}_{m_{N-1} n_{N-1}} & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \dots & \mathbf{T}'_{m_{N-1}}(t_{N-1, n_{N-1}}) & \mathbf{O} \\ \mathbf{O} & \mathbf{O} & \dots & \mathbf{O} & \mathbf{W}_{m_N n_N} & \mathbf{O} & \dots & -\mathbf{T}'_{m_N}(t_{N0}) & \mathbf{T}'_{m_N}(t_{N, n_N}) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{U}^{(1)} = [\mathbf{U}_1 \ \mathbf{U}_2 \ \dots \ \mathbf{U}_{N-1} \ \mathbf{U}_N \mid \mathbf{O} \ \dots \ \mathbf{O} \ \mathbf{O}];$$

- при задании второго порядка гладкости сопряжения  $\mathbf{W} = \mathbf{W}^{(2)}$  и  $\mathbf{U} = \mathbf{U}^{(2)}$ , где

$$\mathbf{W}^{(2)} = \begin{bmatrix} & & & \mathbf{T}''_{m_1}(t_{1n_1}) & \dots & \mathbf{O} & -\mathbf{T}''_{m_1}(t_{10}) \\ & & & -\mathbf{T}''_{m_2}(t_{20}) & \dots & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ & & & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ & & & \mathbf{O} & \dots & \mathbf{T}''_{m_{N-1}}(t_{N-1, n_{N-1}}) & \mathbf{O} \\ & & & \mathbf{O} & \dots & -\mathbf{T}''_{m_N}(t_{N0}) & \mathbf{T}''_{m_N}(t_{N, n_N}) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\mathbf{U}^{(2)} = [\mathbf{U}^{(1)} \mid \mathbf{O} \ \dots \ \mathbf{O} \ \mathbf{O}].$$

Приступим теперь к изучению проблемы разрешимости задачи циклической составной интерполяции на примере линии, два кубических сегмента которой строятся на двух кластерах  $\mathbf{U}_1 = [\mathbf{u}_{10} \ \mathbf{u}_{11} \ \mathbf{u}_{12}]$  и  $\mathbf{U}_2 = [\mathbf{u}_{20} \ \mathbf{u}_{21} \ \mathbf{u}_{22}]$  с первым порядком гладкости сопряжения.

Определитель матрицы  $\mathbf{W}^{(1)}$  выражается через длины параметрических интервалов  $d_{ij}=t_{ij}-t_{i,j-1}$  следующим образом (зададим локальную параметризацию с  $t_{10}=t_{20}=0$ ):

$$\mathbf{W}^{(1)} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{11} & d_{11}+d_{12} & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & d_{11}^2 & (d_{11}+d_{12})^2 & 0 & 0 & 0 & 2(d_{11}+d_{12}) & 0 \\ 0 & d_{11}^3 & (d_{11}+d_{12})^3 & 0 & 0 & 0 & 3(d_{11}+d_{12})^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{21} & d_{21}+d_{22} & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{21}^2 & (d_{21}+d_{22})^2 & 0 & 2(d_{21}+d_{22}) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{21}^3 & (d_{21}+d_{22})^3 & 0 & 3(d_{21}+d_{22})^2 \end{bmatrix},$$

$$|\mathbf{W}^{(1)}| = d_{11}d_{12}d_{21}d_{22}(d_{11}+d_{12})^2(d_{21}+d_{22})^2(d_{11}d_{21}-d_{12}d_{22}).$$

Видно, что при  $\{n_1, n_2\} = \{2, 2\}$  и  $\{m_1, m_2\} = \{3, 3\}$  эта матрица сингулярна, а задача циклической интерполяции с гладкостью сопряжения первого порядка неразрешима, в двух случаях:

- в методе *нормализованной* параметризации (все  $d_{11}=d_{12}=d_{21}=d_{22}=1$ ) с произвольным расположением узловых точек;
- в методе *хордовой* параметризации с *равными* произведениями межузловых расстояний  $d_{11}d_{21}=d_{12}d_{22}$ , где  $d_{ij}=|\mathbf{u}_{ij}-\mathbf{u}_{i,j-1}|$ .

Моделирование с произвольными узловыми точками *показало неразрешимость задачи нормализованной циклической интерполяции при четном суммарном числе интервалов узловой сети*  $n = \sum n_i$ . Создаваемая методом хордовой параметризации, составная линия не существует при определенном сочетании расстояний между узлами. Так, при  $\{n_1, n_2\} = \{1, 3\}$  определитель  $|\mathbf{W}^{(1)}| = d_{11}^2d_{21}d_{22}d_{23}(d_{21}+d_{22})(d_{21}+d_{22}+d_{23})^3(d_{23}-d_{21})=0$ , когда  $d_{21}=d_{23}$ .

Напротив, при *нечетных*  $n$  задача циклической составной интерполяции *разрешима* обоими методами параметризации при любом расположении узловых точек. К примеру, на узловой сетке из  $n=3$  интервалов, разделенных на два кластера размерностей  $\{n_1, n_2\} = \{1, 2\}$ , получается всегда ненулевой определитель  $|\mathbf{W}^{(1)}| = -d_{11}^2d_{21}d_{22}(d_{21}+d_{22})^3 \neq 0$ .

Как и в односегментном варианте, *использование двойной гладкости сопряжения сегментов делает задачу составной циклической интерполяции всегда разрешимой*. Например, при  $\{n_1, n_2\} = \{2, 2\}$  и  $\{m_1, m_2\} = \{4, 4\}$  очень громоздкое выражение определителя  $|\mathbf{W}^{(2)}|$  не содержит ни одной разности, и потому его значение всегда ненулевое.

Все изложенное иллюстрируют графики на рис. 3:

- двухсегментная линия (рис. 3, а) с гладкостью первого порядка успешно построена хордовым методом на  $n=4$  интервальной узловой сетке благодаря неравенству  $d_{11}d_{21} \neq d_{12}d_{22}$ , что было бы невозможно при  $d_{11}d_{21}=d_{12}d_{22}$  либо нормализованным методом;
- выбор второго порядка гладкости сопряжения сегментов сделало эту задачу разрешимой как нормализованным, так и хордовым методами параметризации даже при равномерном распределении четырех узловых точек по кругу, когда  $d_{11}d_{21}=d_{12}d_{22}$ . Максимальное отклонение точек двухсегментной составной линии (рис. 3, б) от окружности составило 2%, то есть ее полиномиальная модель (с нормализованной локальной параметризацией)

$$\mathbf{p}_1(t) = \begin{bmatrix} 1-1.5t^2+0.5t^3 \\ 1.6t-0.8t^3+0.2t^4 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{p}_2(t) = -\mathbf{p}_1(t) \quad \forall t \in [0, 2]$$

лучше приближает окружность, чем более сложная односегментная модель (6);

- три составные дважды гладкие линии (в) построены на узловой сетке с *четным* (не-разрешимым с первым порядком гладкости сопряжения!) числом интервалов  $n=18$ . У линий с нормализованной (1) и хордовой (2) параметризациями сеть разбита на шесть кластеров с  $\{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6\} = \{3, 3, 3, 4, 1, 4\}$ , а линия (3) построена методом хордовой параметризации на четырех кластерах с  $\{n_1, n_2, n_3, n_4\} = \{4, 5, 5, 4\}$ . Графики наглядно показывают существенную зависимость формы составной линии как от выбора метода параметризации, так и от способа кластеризации узловой сети.

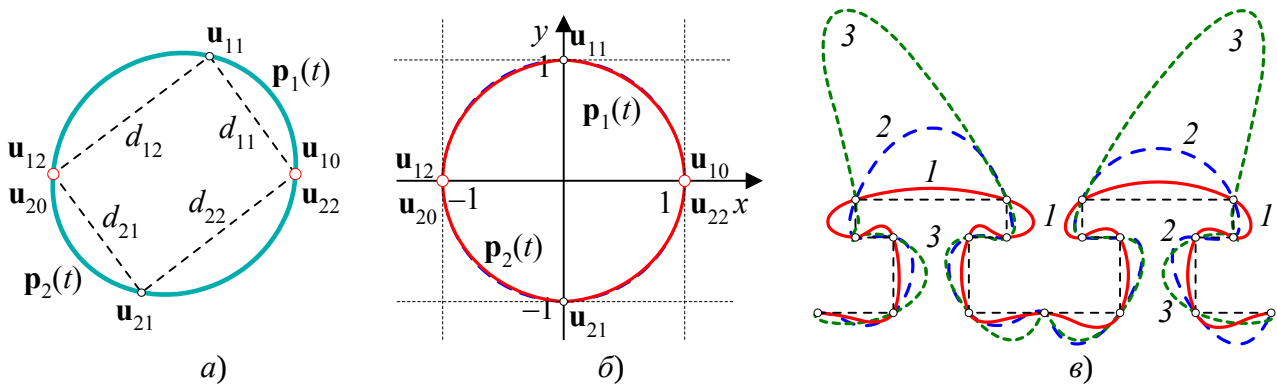


Рис. 3. Циклические составные интерполяционные линии

### Сплайновые циклические линии

Дважды гладкие составные полиномиальные линии, созданные на одноинтервальных ( $n_i=1$ ) кластерах  $\mathbf{u}_{i-1}\mathbf{u}_i$ , называются сплайнами и описываются кубическими полиномами

$$\mathbf{p}_i(t) = \mathbf{S}_i \mathbf{T}_3(t) \quad \forall t \in [t_{i0}, t_{i1}] \quad \forall i = \overline{1, N}.$$

Блочный метод расчета матриц  $\mathbf{S}_0 \div \mathbf{S}_N$  коэффициентов сплайнов с различными краевыми условиями подробно рассмотрен в [2], а здесь приведен конечный алгоритм их вычисления применительно к циклическому варианту сопряжения крайних сегментов:

$$\mathbf{A}_i = [\mathbf{T}(t_{i0}) \quad \mathbf{T}(t_{i1}) \quad \mathbf{T}'(t_{i1}) \quad \mathbf{T}''(t_{i1})], \quad \mathbf{B}_i = [\mathbf{O} \quad \mathbf{O} \quad \mathbf{T}'(t_{i0}) \quad \mathbf{T}''(t_{i0})], \quad \mathbf{U}_i = [\mathbf{u}_{i-1} \quad \mathbf{u}_i \quad \mathbf{O} \quad \mathbf{O}];$$

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 & \mathbf{O} & \dots & \mathbf{O} & -\mathbf{B}_1 \\ -\mathbf{B}_2 & \mathbf{A}_2 & \dots & \mathbf{O} & \mathbf{O} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{O} & \mathbf{O} & \dots & \mathbf{A}_{n-1} & \mathbf{O} \\ \mathbf{O} & \mathbf{O} & \dots & -\mathbf{B}_n & \mathbf{A}_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{U} = [\mathbf{U}_1 \quad \mathbf{U}_2 \quad \dots \quad \mathbf{U}_N]; \quad (8)$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{U} \mathbf{W}^{-1}.$$

Для устранения проблем, связанных с высокой размерностью обращаемой матрицы  $\mathbf{W} \in \mathbb{R}^{4N \times 4N}$ , в [2] приведен рекуррентный алгоритм вычисления матриц  $\mathbf{S}_N, \dots, \mathbf{S}_2, \mathbf{S}_1$ , в котором обращаются лишь две матрицы размерности  $4 \times 4$ .

**Шаг 1.** Получение матриц  $\mathbf{L}$  и  $\mathbf{M}$  в выражении  $\mathbf{S}_1 = \mathbf{L} + \mathbf{S}_N \mathbf{M}$ :

$$\mathbf{L} = \mathbf{O}, \quad \mathbf{M} = \mathbf{I}_4, \quad \{\mathbf{L} = (\mathbf{U}_i + \mathbf{L} \mathbf{B}_{i+1}) \mathbf{A}_i^{-1}, \quad \mathbf{M} = \mathbf{M} \mathbf{B}_{i+1} \mathbf{A}_i^{-1} \quad \forall i = \overline{N-1, 1}\},$$

где  $\mathbf{I}_k$  – единичная матрица размерности  $k \times k$ .

**Шаг 2.** Вычисление векторов коэффициентов сплайна:

$$\mathbf{S}_N = (\mathbf{U}_N + \mathbf{L} \mathbf{B}_1) (\mathbf{C} - \mathbf{M} \mathbf{B}_1)^{-1}, \quad \mathbf{S}_i = (\mathbf{U}_i + \mathbf{S}_{i+1} \mathbf{B}_{i+1}) \mathbf{A}_i^{-1} \quad \forall i = \overline{N-1, 1}.$$

Алгоритм легко программируется и отличается *постоянными* небольшими затратами

памяти и *линейной* зависимостью времени расчета от числа интервалов  $N$ , в отличие от ретроспективного метода (8), чья трудоемкость квадратично зависит от размера узловой сети.

Разрешимость задачи циклической сплайн-интерполяции связана с обнулением определителя матрицы  $\mathbf{W}$ . Структурно матрицы  $\mathbf{W}$  и  $\mathbf{U}$  алгоритма (8) отличаются от матриц  $\mathbf{W}^{(2)}$  и  $\mathbf{U}^{(2)}$  из (7) лишь синхронной перестановкой столбцов, поэтому благодаря второму порядку сопряжения всех сегментов *задача циклической сплайн-интерполяции всегда разрешима*. Это подтверждают значения определителей  $|\mathbf{W}|$ , не обращающиеся в нуль при любых размерах узловой сети  $N$ , параметрических длинах  $d_i = t_{i1} - t_{i0}$  и во всех методах параметризации и локализации. Например, при вычислении коэффициентов сплайна, создаваемого на трехинтервальной узловой сети  $\mathbf{u}_0 \mathbf{u}_1 \mathbf{u}_2 \mathbf{u}_3$ , получается определитель

$$|\mathbf{W}| = 48d_1^2 d_2^2 d_3^2 (d_1 + d_2 + d_3)(d_1 d_2 + d_1 d_3 + d_2 d_3) \neq 0.$$

### Библиографический список

1. Никулин, Е.А. Построение составных линий с различными свойствами сопряжения и произвольными условиями фиксации сегментов // Информационные технологии: тр. НГТУ; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н. Новгород, 2006. Т. 58. Вып. 11. С. 5–12.
2. Никулин, Е.А. Прямой параметрический синтез сплайновых линий // Системы обработки информации и управления: тр. НГТУ; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Н. Новгород, 2007. Т. 65. Вып. 14. С. 123–130.

Дата поступления  
в редакцию 01.02.2014

Е.А. Nikulin

### ON THE SOLVABILITY OF CYCLIC INTERPOLATION PROBLEM

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Subject:** Investigation of the solvability of polynomial cyclic interpolation.

**Purpose:** To find the solvability conditions of the interpolation problem by different types of lines.

**Methodology:** Derivation and analysis of the matrices inversed determinants.

**Originality:** Block method of interpolation lines synthesis is used.

**Findings:** Rules for input data selection that make the interpolation problem resolvable are obtained.

**Keywords:** polynome, interpolation, segment, junction, matrix, determinant.

УДК 004.75

Д.В. Жевнерчук, П.А. Родионов, А.С. Захаров

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И РЕСУРСОВ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Определен круг задач анализа и прогнозирования загрузки вычислительного ресурса неоднородными процессами. Предлагается методика самообследования процессов в многозадачной вычислительной среде, которая включает хронометраж алгоритмов, методов, групп методов, открытую систему мониторинга вычислительного ресурса и процессов, хранилище данных OLAP и модели data mining.

*Ключевые слова:* интероперабельность, открытая система, мониторинг, olap, data mining, большие массивы данных, java.

**Введение**

Современные вычислительные системы обладают свойствами, которые еще 10–15 лет назад относились к разряду второстепенных или вообще не рассматривались. Высокая динамика автоматизируемых бизнес-процессов и скорость адаптации к возможным структурным и функциональным изменениям, виртуализация приложений и рабочих мест, масштабируемость от уровня локальной машины до глобальных сетей, режим 24x7 – все это диктует новые требования к технологиям, методам и средствам проектирования и развертывания вычислительных систем.

Одним из ключевых параметров является интервал времени между постановкой задачи на создание системы и выходом конечного продукта с заданными свойствами, готового к эксплуатации. Для минимизации этого времени необходимо сконцентрировать внимание на процессах автоматизации, которые включают:

- повышение интероперабельности моделей вычислительных систем;
- стандартизацию баз знаний по технологиям и методам проектирования и алгоритмизации;
- генерацию одних моделей вычислительных систем на основе других;
- генерация кода систем и их сборка;
- мониторинг и исполняемого кода системы в однозадачном и многозадачном режимах.

Все выделенные процессы позволяют обеспечить свойства открытости [1, 2] для создаваемой вычислительной системы.

Современные аппаратные облачные системы формируют основу для создания гетерогенных вычислительных сред, в которых могут функционировать множество программных систем. Другими словами, различные вычислительные системы могут иметь пересекающиеся множества аппаратных и программных ресурсов.

Настоящая публикация посвящена проблеме обеспечения масштабируемости такой сложной динамической системы и является дальнейшим развитием методов и средств мониторинга сложных гетерогенных вычислительных систем.

**Постановка задачи**

Необходимо разработать комплекс методов и средств обеспечения мониторинга системы, которые могут обеспечить следующий результат:

- оценить среднее время выполнения произвольного фрагмента кода системы в однозадачном и многозадачном режимах под управлением произвольных программно-аппаратных платформ с поддержкой виртуализации;
- сформировать группы вычислительных систем, использующих один и тот же ресурс на общем интервале времени;

- построить функциональную зависимость эффективности функционирования вычислительной системы от множества вычислительных систем, разделяющих общий программно-аппаратный ресурс и от приложенной общей нагрузки;
- классифицировать новую вычислительную систему;
- выполнить первичную кластеризацию вычислительных систем.

Для решения задачи необходимо разработать комплексную методику и систему сбора и аналитической обработки параметров функционирования вычислительных систем при различных условиях.

Среди систем мониторинга, наиболее близко отвечающих требованиям, известные следующие:

- Munin,
- PandoraFMS,
- AggreGate Network Manager.

Munin – это приложение для мониторинга серверов и обычных клиентских компьютеров под управлением Linux, написанное на языке Perl. Программа создает вывод изменений характеристик системы в виде графиков, встроенных в html страничку. По умолчанию осуществляется мониторинг использования файловой системы, памяти, процессора, активности сетевых служб и др.

Система состоит из двух независимых частей. Первая часть – это сервер, устанавливаемый на машину администратора. Именно на этот компьютер и будут собираться все данные. Вторая часть – это небольшой агент munin-node, настраиваемый на машинах, которые будут анализироваться. Сам этот демон представляет собой, как это было описано ранее, небольшой Perl-скрипт, который слушает 4949 порт с помощью Net::Server.

Данная система поддерживает плагины, которые устанавливаются в папку сервера (/etc/munin/plugins) и запоминает их имена. Раз в 5 мин сервер munin подключается ко всем агентам, получает информацию от всех плагинов и сохраняет себе в базы rrdtool. Одним из условий работы клиентской части munin является наличие любого установленного web сервера.

Система Pandora FMS является системой мониторинга с открытым исходным кодом. Pandora FMS позволяет осуществлять мониторинг с визуализацией состояний и производительностью нескольких параметров из различных операционных систем, серверов приложений и аппаратных систем, таких как брандмауэры, прокси, баз данных, веб-серверов или маршрутизаторов.

Pandora FMS могут быть развернуты практически в любой операционной системе. Мониторинг осуществляется по средствам серверов (в том числе TCP, UDP, ICMP, HTTP) и агентов. Агенты доступны для каждой платформы. Из общего числа возможностей данной системы можно выделить;

- обнаружение новых систем в сети;
- создание в реальном времени отчетов и графиков;
- SLA отчетности;
- графики в реальном времени для каждого модуля;
- поддерживает до 2500 модулей на сервере;
- многопользовательские, многопрофильные, групповые;
- система событий с пользовательской проверкой для работы в группах;
- детализация доступа и пользовательские профили для каждой группы и каждого пользователя. Профили могут персонализировано использоваться с количеством атрибутов безопасности до 8, без ограничений по группам или профилям.

Система AggreGate Network Manager. разрабатывается и поддерживается российским R&D офисом компании Tibbo Technology. AggreGate Network Manager является единственной российской системой мониторинга сетей, составляющей конкуренцию продуктам крупнейших мировых производителей подобных систем.



В частности, серьезными плюсами являются мощные средства анализа SNMP и WMI-данных, интегрированный редактор отчетов, SDK с открытым исходным кодом и пр. Система включает сотни компонентов для сетевого управления (тревоги, отчеты, диаграммы, карты сети, инструментальные панели, выполняемые по расписанию задачи, и т.д.).

Особенности программы AggreGate Network Manager:

- простота интеграции с другими средствами автоматизации зданий;
- поиск сетевых устройств;
- сигналы тревоги в случае ошибок;
- построение графиков в режиме реального времени;
- фильтрация событий;
- AggreGate Network Manager имеет удобный интерфейс.

Общим недостатком всех рассмотренных систем является отсутствие механизмов мониторинга вызовов и хронометража исполняемого кода вычислительных систем.

### Методика и средства

Вычислительные системы  $S_1, S_2, \dots, S_j$  назовем *пересекающимися по ресурсу  $R$* , обозначим  $S^R$ , если существует интервал времени  $\Delta t$ , на котором  $S_i$  удерживает ресурс  $r_i$ , а  $S_j$  удерживает ресурс  $r_j$ , причем  $r_i, r_j \in R$ .

Обеспечивается поддержка опционального режима самообследования вычислительной системы, в котором выполняется фиксация меток времени начала  $t_0^{fc}$  и завершения  $t_n^{fc}$  фрагмента исполняемого кода  $fc$ . Очевидно, что разные замеры времени выполнения одного и того же фрагмента кода будут отличаться друг от друга и в общем случае зависят от конфигурации аппаратной платформы  $A$ , от множества вычислительных систем, являющихся пересекающимися по ресурсу  $R$  с исследуемой, причем  $R \subseteq A$ , от нагрузки  $Q$ , приложенной ко всем пересекающимся по  $R$  системам.

Таким образом,  $\Delta t_k^{fc} = t_n^{fc} - t_0^{fc} = F(R, Q, S^R)$ , и для комплексного анализа масштабируемости вычислительных систем, выполняющихся на платформе  $A$ , необходимо обеспечить сбор  $t_n^{fc}, t_0^{fc}, R, Q, S^R$ , хранение их в форматах, наиболее удобных для аналитической обработки, включая поддержку автоматического поиска зависимостей.

Параметры  $t_n^{fc}, t_0^{fc}$  могут быть получены с помощью дополнительной функциональности в программном коде. Для этого используется сервисный класс или библиотека, содержащая методы (функции) разметки и выполнения хронометража кода, далее *Chronometer*. В каждом модуле, который содержит код, требующий хронометража, создается объект класса *Chronometer*. Участок исследуемого кода обрамляется методами *start\_chron()* и *stop\_chron()*. Вызовы этих методов порождают события *starttime\_event*, *stop-time\_event* и запускают на выполнение их обработчики, которые считывают текущее время, тип метки, идентификатор вычислительной системы, идентификатор  $fc$  и передают эти сведения в стандартный поток вывода. В среде разработки могут быть использованы дополнительно конструкторы режима самообследования, которые включают визуальные инструменты разметки  $fc$  и генерации соответствующих программных конструкций.

Общая нагрузка  $Q$  на систему  $S^R$  определяется множествами пользовательских и программных запросов.

Оценке пользовательской нагрузки посвящены работы [3–5]. Для отслеживания программной нагрузки предлагается на уровне кода ввести маркировку запросов и ответов.

Вычислительная система, выполняющая запрос, является клиентом, отвечающая на запрос – сервером. Маркер запроса включает информацию об идентификаторе клиента, запрашиваемого  $fc$ , идентификаторе сервера, момента времени, когда выполнялся запрос. Маркер ответа включает информацию об идентификаторе клиента, идентификаторе сервера, момента времени, когда был передан ответ. Маркеры передаются стандартным потоком вывода и могут быть обработаны системами мониторинга. Запрос и ответ передаются между

вычислительными системами. Формирование и маркера и вывод его в стандартный поток осуществляется сервисной библиотекой функций либо классом, далее *QueryResultMarker*.

Для управления процессом сбора данных локальной платформы либо сетевого ресурса применяется многоагентная система. Серверная часть включает агенты, установленные на компьютер для сбора информации. Агенты ожидают подключение клиента и по его команде начинают сбор данных, который проводится в режиме реального времени. Результаты сбора информации сохраняются в структурированные файлы отчетов.

Координатор процесса сбора параметров вычислительной системы выполняет следующие функции:

- активации/деактивации агентов;
- отображения информации о состоянии агентов;
- экспорта данных в структурированные файлы отчетов;
- сбора сведений о доступных утилитах;
- формирования расписания активации утилит.

Информация о ресурсах платформы, включая доступные и удерживаемые, собирается средствами операционных систем и системными утилитами.

Собираемые данные приводятся к формату гиперкубов [6], что позволит:

- естественным образом формировать аналитические структуры, поддающиеся автоматизированной обработке;
- разрабатывать модели Data Mining [7, 8], для построения классификаторов и неочевидных функциональных зависимостей в собираемых данных с целью формализованного описания вычислительных систем и выявления оптимальных  $S^R$ .

Современные системы OLAP и Data Mining ориентированы на хранение и обработку данных, которые изначально могут быть описаны в различных форматах, т.е. они обладают высоким коэффициентом интероперабельности.

Система мониторинга является комплексной, базирующейся на интероперабельности отдельных программных решений, и в общем случае может включать в свой состав следующие компоненты:

- сервисный класс *Chronometer*;
- сервисный класс *QueryResultMarker*;
- генераторы программного кода;
- конструкторы режима самообследования;
- координатор процесса сбора параметров вычислительной системы;
- утилиты сбора данных об использовании ресурсов узлов;
- временное хранилище собираемых параметров вычислительной системы;
- ETL утилиты;
- процессоры OLAP-системы;
- модели и процессоры Data Mining;
- OLAP хранилище данных;
- Data Mining хранилище данных;
- система визуализации аналитических моделей.

Концептуальная модель комплексной открытой системы мониторинга представлена на рис. 1.

В общем случае выделенные компоненты принадлежат разным системам и могут выполняться под управлением различных платформ. Генераторы программного кода и конструкторы режима самообследования играют вспомогательную роль и являются элементами сред разработки, поэтому они не вынесены на схему.

ETL утилита предназначена для передачи данных из временного хранилища системам OLAP и Data Mining. Она может являться частью аналитических платформ либо подсистемой координатора сбора данных, либо самостоятельной программой. Временное хранилище существует на каждом узле, где происходит мониторинг исполняемого кода и ресурсов, потребляемых вычислительными системами, и реализовано множеством структурированных файлов, для которых выделены специальные системные папки. Для повышения интероперабельности разрабатываемого комплексного решения, не существует жестких ограничений на формат временного хранилища.

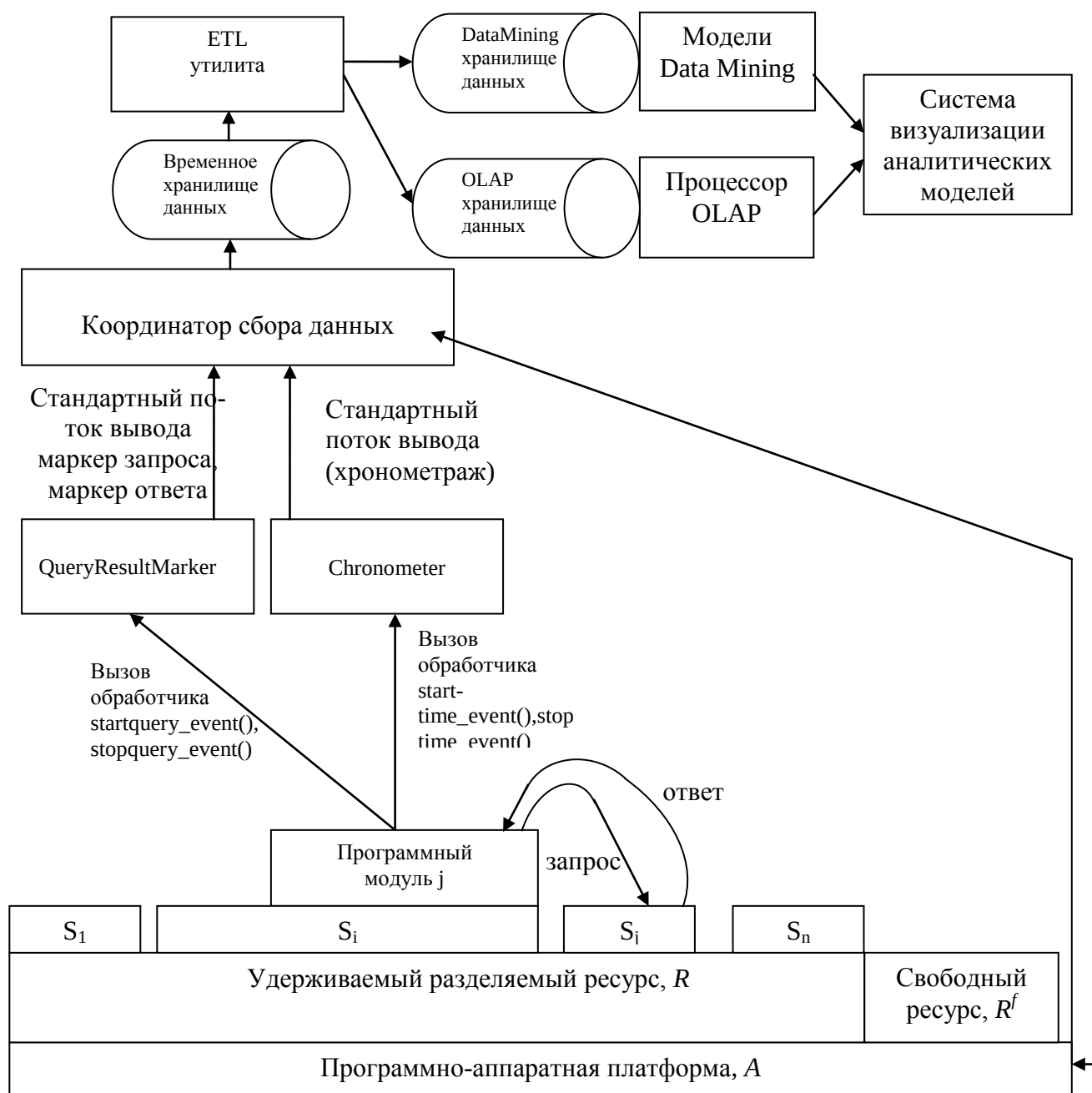


Рис. 1. Архитектура комплексной открытой системы мониторинга

В зависимости от реализации OLAP и Data Mining систем конечные форматы хранения данных и построенных на их основе аналитических моделей могут варьироваться. Модели Data Mining могут быть построены и на основе хранилища данных OLAP.

Системы визуализации данных, как и ETL утилиты, могут быть либо самостоятельными, либо являться частью аналитических компонент комплексной среды мониторинга.

### Экспериментальная часть

Предложенная методика была использована при построении прототипа комплексной системы мониторинга исполняемого кода и потребляемых ресурсов вычислительных систем.

Разработаны классы хронометража и мониторинга запросов для Java. Тестовая вычислительная система включает три класса, каждый из которых включает два-три хронометрируемых метода. Отдельные экземпляры системы обмениваются данными по запросу.

Испытания системы проводились с использованием следующих программных и аппаратных платформ и компонентов:

- процессор: Intel Pentium 4 или аналогичный AMD Athlon;
- оперативная память: 128 МБ; 64 МБ для Windows XP (32-разрядная версия);
- жесткий диск: 200Мб свободного места;
- консоль 80x25 в текстовом режиме;
- периферия: наличие клавиатуры;
- Windows 8 (Настольные ПК), Windows 7, Windows Vista SP2, Windows XP SP3 (32-разрядная версия); Windows XP SP2 (64-разрядная версия), Windows Server 2008, Windows Server 2012 (64-разрядная версия);
- Linux Oracle Linux 5.5+, Oracle Linux 6.x (32-разрядная версия)\*, 6.x (64-разрядная версия)\*\*, Red Hat Enterprise Linux 5.5+, 6.x (32-разрядная версия)\*, 6.x (64-разрядная версия)\*\*, Ubuntu Linux\* 10.04 и выше, Suse Linux Enterprise Server\* 10 SP2, 11.x;
- Java Standard Edition 1.7,
- Process Explorer,
- Weka [8].

В режиме самообследования метки времени выполнения методов и ожидания отклика фиксируются в csv-файлах. Также фиксируются ресурсы, потребляемые каждым Java процессом.

Координатор сбора включает агенты сбора системной информации о потребляемых ресурсах и агенты, конвертирующие данные из csv файлов в arff файлы, с которыми работает система Data Mining Weka.

В ходе экспериментального исследования установлено, что прототип обладает высокой степенью интероперабельности:

- функционирование на программно-аппаратных платформах, поддерживаемых JVM;
- отсутствуют ограничения на форматы временного хранилища, которые определяются на уровнях координатора сбора данных и классов Chronmeter и QueryResultMarker;
- отсутствуют ограничения на интерфейсы взаимодействия с аналитическими системами;

Кроме того, среда хорошо расширяема по аналитическим моделям. В общем случае можно добавить любые методы обработки структурированных данных хронометража и потребления ресурсов.

Система является масштабируемой благодаря агентной архитектуре. Поддержка CLI упрощает процедуру управления агентами, функционирующими в распределенной вычислительной среде.

### Выводы

Предложенная методика является эмпирической, не содержит допущений или ограничений, которые могут повлиять на точность конечного результата. Экспериментально установлено, что созданный прототип является открытой вычислительной системой: *переносимый (кроссплатформенный)* между широким кругом программно-аппаратных платформ, *расширяемый* по аналитическим компонентам, утилитам, поддерживаемым форматам хранения данных, *масштабируемый* благодаря агентной архитектуре, интероперабельный, благодаря чему практически сняты ограничения на организацию внутреннего межкомпонентного взаимодействия, так и взаимодействия с внешними системами.

Методика может быть применена:

- для тестирования программного обеспечения, функционирующего в монопольном и многозадачном режимах;
- балансировки нагрузки серверного ресурса, обрабатывающего произвольные группы процессов;
- построения моделей прогнозирования поведения вычислительных систем.

В перспективе развитие прототипа комплексной системы мониторинга исполняемого кода и потребляемых ресурсов вычислительных систем будет проходить в направлениях:

- создания генераторов кода для режима самообследования;
- создания конструкторов для поддержки режимов самообследования: визуализация хронометрируемых участков кода и форматов временного хранилища;
- портирования классов Chronometer и QueryResultMarker в другие среды разработки программного обеспечения.

### Библиографический список

1. Сухомлин, В.А. Методологический базис открытых систем // Открытые системы. 1996. № 4.
2. Технология открытых систем / под ред. А.Я. Олейникова. – М.: Янус-К, 2004.
3. Жевнерчук, Д.В. Моделирование трафика открытой информационной системы с трансляцией GUI в потоковом видео // Инфокоммуникационные технологии. 2011. №4. С 46–52
4. Жевнерчук, Д.В. Методика моделирования нагрузки на сервер в открытых системах облачных вычислений / Д.В. Жевнерчук, А.В. Николаев // Информатика и ее применения. 2012. Т. 6. Вып. 2. С. 99–106.
5. Жевнерчук, Д.В. Программный генератор трафика пользователей ресурса виртуальных лабораторий, Программные продукты и системы/ Д.В. Жевнерчук, А.В. Николаев // Программные продукты и системы. 2012. №3. С 31–38.
6. Паклин, Н.Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям (+ CD) / Н.Б. Паклин, В.И. Орешков. – СПб.: Питер, 2009. – 624 с.
7. Тоби, Сегаран. Программируем коллективный разум / Тоби Сегаран. – М.: Символ-Плюс, 2012. – 368 с.
8. Ian H. Witten. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques / Ian H. Witten, Eibe Frank, Mark A. Hall // Third Edition The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems, MK Morgn Laufmann, 2011. – 421 p.

Дата поступления  
в редакцию 01.02.2014

D.V. Zhevnerchuk, P.A. Rodionov, A.S. Zaharov

## RESOURCE AND COMPUTING PROCESSES MONITORING SYSTEMS INTEROPERABILITY RESEARCH

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Subject:** The subject of this study is the interoperability of resource and computing processes monitoring systems.

**Purpose:** The aim is to create methods and instrumental environment for computing processes and resources monitoring with high valued interoperability parameter.

**Design/methodology/approach:** A theoretical framework is proposed based on methodology of open systems in computer science and design of network software systems, OLAP and Data Mining, Software engineering.

**Findings:** The results can be applied to the design and development of scalable, extensible integrated monitoring systems whose components operate in heterogeneous distributed computing environment.

**Research limitations/implications:** The present study provides a foundation for interoperable monitoring systems development.

**Originality/value:** Monitoring systems have two components: components, embedded in applications for collecting temporal parameters and components for the statistics collection and analytical models construction. The study defined technical basis to ensure the interoperability of monitoring systems which can collect and process temporal parameters for application's different executable parts.

*Key words:* interoperability, open system, monitoring, OLAP, Data Mining, large data sets, java.

УДК 004.896

В.А. Лазарев

## ПОСТРОЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приведена методика применения продукционной модели представления знаний в системах поддержки систем автоматического тестирования. Приводится оценка выгоды от внедрения подобной системы на базе реального проекта.

*Ключевые слова:* продукционная система, автоматическое тестирование, интеллектуальная система сопровождения.

### Введение

С развитием компьютерных технологий развивалось и производство программных средств. В настоящий момент производится сотни тысяч различных программных продуктов. Конкурентная борьба приводит к постоянному сокращению времени от начала разработки продукта до вывода продукта на рынок. Это приводит к сокращению всех этапов разработки программного обеспечения, в том числе и фазы тестирования как наиболее ответственной и трудоемкой. Для сохранения приемлемого качества продукта, стандартом стала автоматизация тестирования разрабатываемого продукта. В то же время значимость систем автоматической поддержки стремительно растет и, по оценкам экспертов, через несколько лет ее значимость будет соизмерима со значимостью САПР. В данной статье разрабатывается система поддержки автоматического тестирования с использованием продукционной модели представления знаний.

### Анализ предметной области

Рассмотрим пример существующей системы автоматизации тестирования. Тестируемый продукт тесно взаимодействует с операционной системой и аппаратными средствами. Использование виртуальных машин невозможно из-за неадекватного эмулирования ими аппаратной части (используются новейшие и перспективные наборы команд, поддержка которых отсутствует в существующих виртуальных машинах). Продукт поддерживает более 50 различных программно-аппаратных платформ, включая:

- мобильные платформы: планшетные компьютеры и смартфоны под управлением Windows и Android;
- настольные компьютеры под управлением различных версий Windows и Linux;
- серверные платформы под управлением различных Linux систем.

В результате обсуждения были выбраны 35 платформ, на которых требуется тестировать продукт. Для покрытия всех платформ была сформирована тестовая лаборатория, содержащая 150 тестовых машин распределенных на трех, географически удаленных площадках (Россия, Израиль, США).

Тестирования продукта состоит из двух этапов:

- интеграционного тестирования – после каждого изменения в продукте набор коротких тестовых пакетов (общая длительность менее часа), на ограниченном наборе платформ (5). На этом этапе выявляются 80% регрессий;
- еженедельного системного тестирования, где выполняется полный набор тестов.

Рассматривается система, являющаяся вторым этапом тестирования.

Среди тестовых машин присутствуют инженерные образцы перспективных аппаратных платформ. С целью уменьшения влияния аппаратных сбоев на результаты тестирования используются только наиболее стабильные инженерные образцы, инженерные образцы выводятся из автоматического тестирования, как только появляется более надежная машина соответствующая данной платформе (табл. 1).

**Таблица 1**

**Распределение тестовых машин по стабильности**

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Инженерные образцы А0 (заявленное время наработки на отказ 8 ч), %             | 10 |
| Инженерные образцы В0 (заявленное время наработки на отказ 24 ч), %            | 20 |
| Официально выпущенные системы (заявленное время наработки на отказ 14 дней), % | 70 |

При этом так как платформы группируются, в том числе и по аппаратному признаку, ряд платформ состоит только из инженерных образцов.

Общее количество тестов около 50 000. Они сгруппированы в 120 тестовых пакетов. С учетом того, что один и тот же тест запускаются на различных платформах, запускается порядка трех тысяч тестовых пакетов на различных тестовых платформах. Время исполнения тестов различно и зависит как от самого теста, так и от платформы, на которой он исполняется. Время исполнения одного тестового пакета за 6 месяцев распределились следующим образом:

- 31,90% тестов длятся менее 1 мин (в большой степени это означает инфраструктурную проблему или отмену пользователем до начала исполнения);
- 28,67% тестов длятся менее 10 мин;
- 23,32% длятся от 10 мин до 1 ч;
- 13,34% длятся от 1 ч до 8 ч;
- 2,29% длятся от 8 ч до суток;
- 0,45% тестов длятся от суток до трех.

Для исполнения всех тестов на некоторых платформах требуется более 6 суток. С учетом того, что требуется перезапуск отдельных тестов для анализа причин падения и того, что тесты прогоняются на еженедельной основе, ожидается постоянная работоспособность системы автоматизированного тестирования. А учитывая использование инженерных образцов, географическое распределение тестовых машин, требуется постоянное приложение усилий для поддержания ее в рабочем состоянии. При этом строгие временные рамки приводят значительной задержке в анализе проблем:

- тесты запускаются раз в неделю;
- нередко проблема анализируется только после повторного воспроизведения (задержка неделя);
- из-за занятости тестовых машин анализ откладывается еще на три-пять дней.

В результате нередко причина проблемы выясняется через три-четыре недели после ее внесения.

В процессе работы системы замечено, что около 18% от всего количества запусков тестов - это перезапуски по различным причинам. Далее (табл. 2) приведена статистика по перезапускам за 6 мес. в процентах от общего количества перезапусков, возможность провести перезапуск в автоматическом режиме и среднее время, затрачиваемое на анализ проблемы.

Как следует из таблицы, около 30% перезапусков могут быть обработаны в автоматическом режиме. При этом существенно сокращается время на анализ тестовых падений и перезапуск тестов (около 30% от времени затраченного на сопровождение тестирования).

Таблица 2

## Причины перезапусков тестов

| Причина перезапуска                             | %     | авто | время  |
|-------------------------------------------------|-------|------|--------|
| Ошибка подготовки тестового цикла               | 16,53 | Нет  | 10 мин |
| Неверное окружение на тестовой машине           | 7,2   | Да   | 1 час  |
| Система непрерывной интеграции                  | 0,68  | Да   | 10 мин |
| Действий пользователя                           | 3,61  | Да   | 10 мин |
| Проблема с сетью                                | 2,97  | Нет  | 10 мин |
| Пользовательские действия по анализу падений    | 17,65 | Нет  | -      |
| Проблема с доступом к сетевому хранилищу        | 5,78  | Да   | 10 мин |
| Проблема зеркалирования тестовой инфраструктуры | 5,46  | Да   | 1 день |
| Перезапуск после исправления теста              | 33,11 | Нет  | -      |
| Зависание теста или маленький таймаут           | 1,19  | Да   | 10 мин |
| Нестабильная тестовая машина                    | 5,8   | Да   | 1 день |

Для крупных проектов объем тестируемой функциональности приводит к росту количества и длительности тестов. Кроме того, большинство современных продуктов поддерживают различные платформы (программные и аппаратные), в результате необходимо запускать каждый тест на различных платформах. Для решения задач по распределению автоматических тестов на гетерогенном парке машин используются системы непрерывной интеграции (continuous integration systems). Примерами подобных систем могут служить Jenkins/Hudson, Pulse, Team City, Electric Commander и другие.

Рассмотрим типичные требования к системе непрерывной интеграции и их основные характеристики. Основным требованием является максимально быстрое и надежное предоставление тестовых результатов. Из этих требований следуют необходимость включения множества тестовых машин (повышение надежности за счет дублирования и скорости тестирования за счет параллелизма) и сетевой характер системы автоматизации тестирования. Нередко продукт является кроссплатформенным либо поддерживает различные версии одной ОС, в результате требуется гетерогенность тестовых платформ.

Помимо собственно процесса тестирования, такие системы обслуживают процесс построения продукта и тестов. Кроме того, существует подсистема контроля статуса всех машин, подключенных к системе. Чаще всего такие системы выполняют функции администрирования тестового парка. Кроме того, для сокращения издержек и максимизации использования существующих ресурсов от систем автоматизации тестирования требуется непрерывная работа 24 часа в день, 7 дней в неделю. Для поддержки подобной системы требуются знания в различных областях (знание языков программирования, навыки администрирования, понимание архитектуры продукта и тестовой системы и т.д.), а значит, необходим персонал высокой квалификации.

Анализ предметной области функционирования систем автоматического тестирования показал, что они высокого уровня сложности, гетерогенны по множеству выполняемых функций и поддерживаемых процессов, загружены 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, требуют для поддержки и использования персонала высокой квалификации.

Таким образом, внедрение систем автоматизации тестирования программного обеспечения актуализирует комплекс связанных задач в плане создания методологии и инструментов, способных заменить высококвалифицированный персонал средствами интеллектуальной поддержки систем автоматизации процесса тестирования.



### Предлагаемая методика

Для эффективного решения задачи планируется создать интеллектуальную систему, осуществляющую анализ текущего состояния процесса автоматического тестирования и коррекцию ошибочных состояний в максимально автоматическом режиме. Данные о состоянии тестов и машин поступают из базы данных, системы распределения задач и узлов в сети. После обработки система интеллектуальной поддержки вырабатывает корректирующие действия.

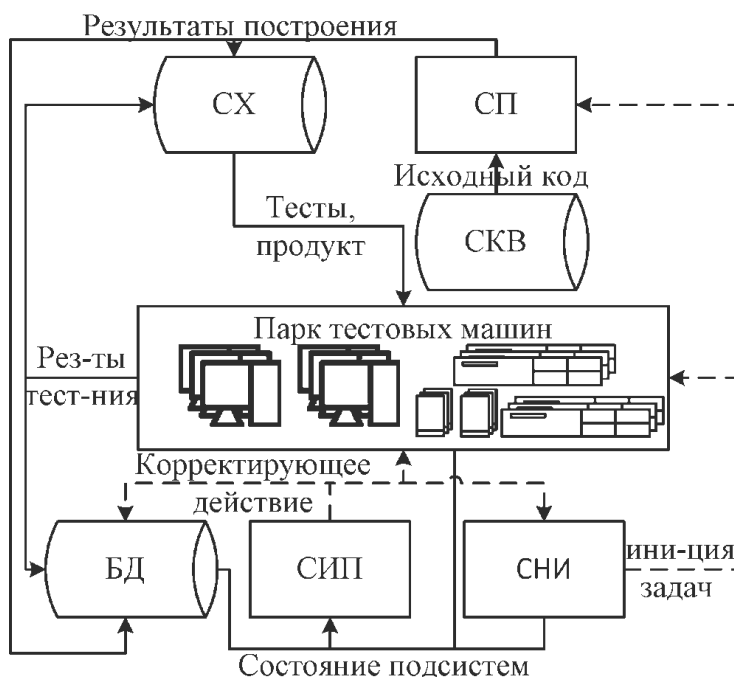


Рис. 1. Архитектура системы

На рис. 1 представлена общая архитектура системы автоматического тестирования, состоящей из базы данных (БД), системы непрерывной интеграции (СНИ), системы контроля версий исходного кода (СКВ), сетевого хранилища (СХ), парка тестовых машин, системы построения тестов и продукта (СП) и системы интеллектуальной поддержки процесса тестирования (СИП).

Интеллектуальную систему сопровождения автоматического тестирования планируется внедрять в существующую систему автоматического запуска тестов. За время использования существующей системы пользователи создали документ, описывающий типичные проблемы и способы реакции на них. Так как знания в СИП описывают реакции на различные состояния системы и рекомендации по переводу в желаемое состояние, пользователи привыкли к форме представления знаний ЕСЛИ-ТО, будет использована продукционная модель представления знаний.

В результате, интеллектуальная подсистема сопровождения процесса автоматического тестирования представляет собой экспертную систему (на базе оболочки CLIPS), использующую продукционную модель представления знаний. Правила создаются, корректируются, удаляются администратором системы на этапе первичного обучения и при выявлении несоответствий в процессе эксплуатации. Пользователь включается в процесс сопровождения автоматического тестирования, если:

- осуществляется первичный ввод данных (информация о новых/измененных тестах, добавление/удаление информации о тестовых машинах, изменение критериев качества и т. д.);
- действие невозможно выполнить системой (требуется физический доступ к машинам, требуется общение с соседними командами, проблемы в сети);

- появилось новое знание, требуется подтверждение пользователя;
- предлагаемое корректирующее воздействие слишком опасно;
- ни одно правило не как реальная и нужен анализ продукта и теста.

В работе системы сопровождения автоматического тестирования можно выделить ряд типовых задач, при этом каждой типовой задаче соответствует множество типовых сценариев. Далее (табл. 3) представлены типовые задачи, характерные для систем сопровождения автоматизированного тестирования программного обеспечения, классифицированные по мобильности (переносимости на системы автоматизированного тестирования, отличные от рассматриваемой) и применимости продукционной модели представления знаний.

Таблица 3

## Типовые задачи

| Типовая задача                                                                  | Прод. | Моб. |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|------|
| Управление состоянием парка тестовых и служебных машин                          | +     | +    |
| Управление конфигурацией тестов                                                 | +     | +    |
| Управление запуском тестового пакета                                            | +     | +    |
| Управление процессом исполнения тестов                                          | +     | +/-  |
| Управление процессом сохранения тестовых результатов                            | +     | +    |
| Первичный анализ тестовых результатов и связь их с системой учета ошибок        | +     | -    |
| Анализ статистики запусков и генерация рекомендаций по оптимизации тестирования | -     | +    |
| Генерация новых правил и знаний                                                 | +     | +/-  |

Как видно из табл. 3, большинство типовых задач переносимы или частично переносимы, что позволит внедрять разрабатываемую систему на различных предприятиях. Каждая типовая задача поддерживается отдельным фрагментом базы знаний, что позволяет комбинировать набор типовых задач, которые требуется решать в рамках внедрения системы на различных площадках. Далее рассматривается фрагмент предметной области, описывающий одну типовую задачу и ее типовые сценарии.

При автоматическом тестировании необходимо поддерживать парк тестовых машин, разнородный по своему аппаратному и программному составу. Для контроля состояния парка тестовых машин происходит проверка на регулярной основе каждой из них, при этом существует несколько возможных сценариев:

- недоступна физически. В данном случае требуется вмешательство администратора лаборатории. Соответствующее уведомление отправляется ответственным сотрудникам;
- доступна физически, но недоступна для системы непрерывной интеграции. Необходимо проанализировать причину и в зависимости от нее можно предпринять корректирующие действия:
  - отключена пользователем в системе непрерывной интеграции. Необходимо уведомить отключившего пользователя и администратора. Пользователь или администратор включает машину по завершении всех работ;
  - отключена автоматически из-за проблемного состояния ресурсов машины. Требуется вмешательство администратора;
  - отключена автоматически по служебным причинам. Если задача, которая отключила машину, уже не исполняется, необходимо включить данную машину;
  - агент не доступен;
    - если машина сконфигурирована корректно – рестарт машины;
    - если ошибка конфигурации – уведомить администратора;

- доступна для системы распределения задач, но невозможно исполнение тестов. Необходимо анализировать причины падения тестов:
  - не хватает прав для исполнения теста – скорректировать политики безопасности;
  - возникает ошибка в подсистеме настройки окружения – необходимо отключить машину в системе распределения задач;
  - недоступны сетевые диски – подключить их;
  - при попытке инициировать исполнение очередной задачи возникает ошибка системы распределения задач – отключить машину в системе распределения задач;
- машина доступна и тесты исполняются, предоставляя достоверные результаты.

На рис. 2 представлено дерево принятия решений для подсистемы контроля и коррекции состояния машин.

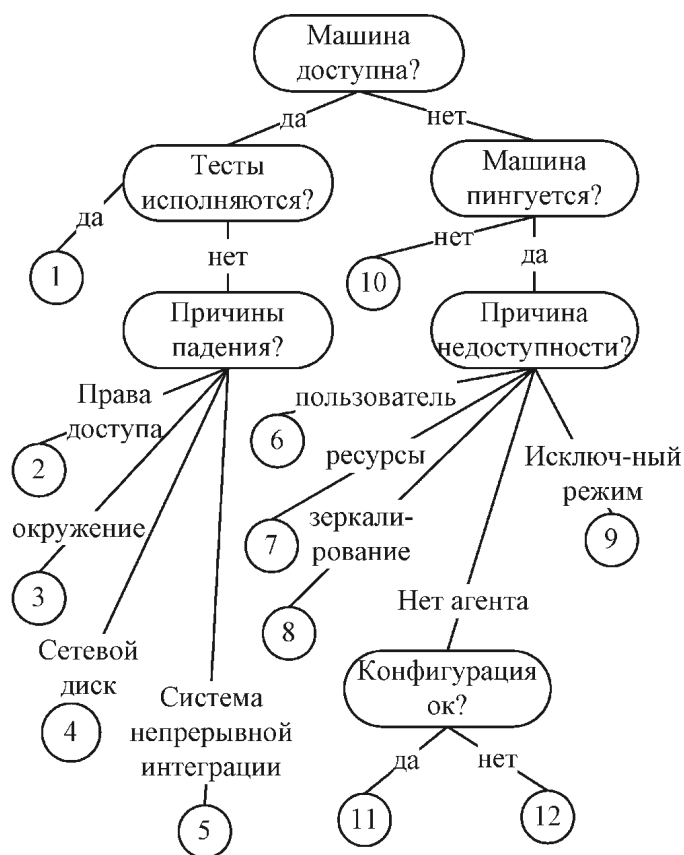


Рис. 2. Дерево принятия решений

Далее содержится список корректирующих действий, соответствующих листьям дерева принятия решений:

1. Ничего.
2. Изменить настройки групповой политики.
3. Отключить машину и уведомить администратора.
4. Подключить сетевой диск.
5. Отключить машину и уведомить администратора.
6. Уведомить пользователя и администратора (повторять раз в сутки).
7. Отправить уведомление администратору.
8. Если зеркалирование завершилось, включить машину.
9. Если тест, требующий эксклюзивного исполнения, завершился, включить машину.
10. Отправить уведомление администратору.
11. Рестартовать машину.
12. Сконфигурировать агент автоматически.

### Выводы

Внедрение системы интеллектуальной поддержки автоматического тестирования позволяет оптимизировать работу отдела занимающегося тестированием, при этом:

- сократится время реакции на проблемы в продукте;
- сократится время простоя тестовых машин;
- повысится качество тестирования за счет анализа больших объемов данных;
- снижается вероятность недостоверных результатов тестирования;
- сократится время затрачиваемое сотрудниками на рутинные действия и освободится время на более глубокий анализ проблем в продукте и развитие тестов.

В результате, используя те же ресурсы, можно будет более полно и качественно тестировать продукт. Как показал анализ типовых задач, использование данного подхода позволит переносить разработанную систему на различные площадки без существенных изменений в ядре системы.

Но, с другой стороны, внедрение данной системы делает актуальной задачу создания средств автоматизации выделения знаний о предметной области и их представлении в машинно-ориентированном виде.

### Библиографический список

1. Джонс, М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М.Т. Джонс. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 312 с.
2. Quinlan, J. R. Generating Production Rules From Decision Trees // Knowledge acquisition, 1987. P. 304–307.
3. Мисевич, П.В. Сценарно-ситуационный подход к проектированию средств интеллектуальной поддержки процесса функционирования автоматизированных систем // Системы управления и информационные технологии. 2007. N2.1(28). С. 166–171.

*Дата поступления  
в редакцию 01.02.2014*

**V.A. Lazarev**

### DEVELOPING OF INTELLECTUAL SUPPORT SYSTEM FOR AUTOMATED TESTING

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Optimizing resources needed for automatic validation process with increasing validation quality.

**Design/Methodology/Approach:** The paper proposes production rules system as intellectual core for test automation system. The subject area is analyzed basing on real project and one typical task is reviewed in terms of production rules system.

**Findings** The production rules system can be used as core of intellectual support system for automation testing.

**Research limitations/implications:** The system actualizes task of automatic selecting and converting into machine oriented form knowledge about subject area.

**Originality/Value:** The presented approach allows to reduce resources (including hardware and test engineer time) required for automated testing and improves quality of testing by deeper analysis of test failures.

*Key words:* production system, automated testing, intellectual support.

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

УДК 621.833

А.Н. Петровский

**К ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЗАЦЕПЛЕНИЯ М.Л. НОВИКОВА**

(Продолжение. Начало см. в № 5 за 2013 г.)

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Задача оптимизации сформулирована как система условий существования и качества рабочего и станочных зацеплений. Численное решение получено в виде трехмерного массива безразмерных параметров и расчетных величин для возможных чисел зубьев шестерни и колеса 150×150. Оптимизированные параметры обеспечивают максимальную нагрузочную способность, регламентируемую расчетами на прочность. Приводится сравнение оптимизированных зацеплений М.Л. Новикова с оптимизированными эвольвентными зацеплениями.

*Ключевые слова:* зацепление Новикова, зубчатые передачи, редукторы, двухпозиционный обкат, нагрузочная способность, конкурентоспособность, прочность.

4. *Условие равной нагрузочной способности на изгиб сопрягаемых зубьев.*

Условие определяет равенство целевых функций (28) шестерни и колеса:

$$\left( \frac{\sigma_{F \lim b1}^0}{S_{F1} Y_{FS2}} \right) = \left( \frac{\sigma_{F \lim b2}^0}{S_{F2} Y_{FS1}} \right). \quad (41)$$

В качестве первого приближения для решения уравнения (41) используется условие равной толщины сопрягаемых зубьев по хордам граничных окружностей:

$$r_{l1} \sin(\chi_{l1}) = r_{l2} \sin(\chi_{l2}). \quad (42)$$

В нашем случае граничные окружности совпадают с начальными окружностями станочного зацепления, поэтому для точек  $l_{1,2}$  равенство (42) и соотношения

$$r_{l1} = \frac{1}{\cos \alpha_k}, \quad (43)$$

$$r_{l2} = \frac{z_2}{z_1 \cos \alpha_k}, \quad (44)$$

$$\chi_{l,2} = \frac{\pi - 2\rho_f^* \cos \alpha_l - y_{1,2}^*}{z_{1,2}}, \quad (45)$$

сводятся к уравнению для определения коэффициентов тангенциальных смещений  $y_{1,2}$ :

$$z_1 \sin \left( \frac{\pi - 2\rho_f^* \cos \alpha_l - y_1^*}{z_1} \right) = z_2 \sin \left( \frac{\pi - 2\rho_f^* \cos \alpha_l - y_2^*}{z_2} \right), \quad (46)$$

которое решается с учетом (39), (40).

Более точные решения получают методами теории упругости, варьируя отношением толщин зубьев, шестерни и колеса за счет перераспределения коэффициента  $\delta_s^*$  между  $y_{1,2}^*$ .

Для пары одинаковых колес ( $z_1 = z_2$ ), выполненных из одного материала по общей технологии, (46) сводится к равенствам:  $y_1^* = y_2^* = 0.5 \delta_s^*$ .

5. Условие гарантированных радиальных зазоров в рабочем зацеплении.

Из геометрии станочного зацепления и сопряжения пары ИПК (см. рис. 7 и рис. 8), получим координаты нижних точек профиля  $f_{1,2}$ :

$$r_{f1,2} = \frac{z_{1,2} - 2\rho_f^*(1 - \sin \alpha_l)}{z_1 \cos \alpha_k}, \quad (47)$$

$$\chi_{f1,2} = \frac{\pi}{z_{1,2}} - \Phi_{P1,2}, \quad (48)$$

$$\Phi_{P1,2} = \frac{(2y_0^* - y_{2,1}^*)}{z_{1,2}}, \quad (49)$$

$$y_0^* = 0.5\pi - \rho_f^* \cos \alpha_l - \rho_a^* (\cos \alpha_d + \sin \alpha_d \operatorname{tg} \alpha_l). \quad (50)$$

Радиусы окружностей выступов для заданного коэффициента радиального зазора  $-\delta^*$  в зацеплении можно представить в виде

$$r_{a1,2} = \left( \frac{z_2}{z_1} + 1 \right) \frac{1}{\cos \alpha_w} - r_{f2,1} - \frac{2\delta^*}{z_1 \cos \alpha_k}, \quad (51)$$

В элементарном ИПК центр дуги ножки расположен на начальной прямой, поэтому дуга ножки копируется в головке формируемого зуба, а точка  $a$  профиля фиксируется пересечением окружности выступов и дуги головки. Угловой параметр точки  $a$  получим из треугольника  $OPa$  на рис. 7:

$$\chi_{a1} = \arccos \left( \frac{1}{2r_{a1} \cos \alpha_k} \left( r_{a1}^2 \cos^2 \alpha_k - \frac{4\rho_a^{*2} - z_1^2}{z_1^2} \right) \right) + \Phi_{P1}, \quad (52)$$

$$\chi_{a2} = \arccos \left( \frac{z_1}{2z_2 r_{a2} \cos \alpha_k} \left( r_{a2}^2 \cos^2 \alpha_k - \frac{4\rho_a^{*2} - z_2^2}{z_1^2} \right) \right) + \Phi_{P2}. \quad (53)$$

6. Условие минимального зазора между переходными поверхностями.

Зазор между переходными поверхностями сопрягаемых зубьев должен предотвратить их контакт на всех режимах эксплуатации и компенсировать технологические отклонения размеров. Минимальная величина зазора может быть определена из условия образования гидродинамического масляного слоя между переходными поверхностями.

Для оценки возможной величины зазора, воспользуемся приближенным решением С.М. Тарга для проката вязкой жидкости между двумя цилиндрами [16]. Схема к определению функции давления показана на рис. 10.

Силы давления направлены в противоположные стороны от средней плоскости слоя, а сама функция давления симметрична относительно оси абсцисс и выведена для половины толщины  $\Delta$  гидродинамического слоя вязкой жидкости. С учетом принятого масштабного фактора функция принимает вид

$$p = \frac{3\eta\omega}{\operatorname{tg} \psi} \left[ (1 + \Delta) \left( \frac{1}{f(\psi)} - \frac{1}{\Delta} \right) - \ln \left( \frac{\Delta}{f(\psi)} \right) - \left( \frac{1}{f^2(\psi)} - \frac{1}{\Delta^2} \right) \left( 1 + \Delta + \frac{\Delta}{1-k} \ln k \right) \frac{\Delta}{1+k} \right]; \quad (54)$$

$$f(\psi) = 1 - \cos \psi + \Delta, \quad (55)$$

где  $p$  – давление в гидродинамическом слое, МПа;  $\psi$  – угол отклонения текущего сечения от плоскости, проходящей через оси зубчатых колес;  $\eta$  – динамическая вязкость, Па·с;  $\omega$  – частота вращения шестерни;  $k$  – уровень сжатого слоя, определяемый отношением величины зазора к толщине слоя на входе в зацепление,  $f(\psi)$  – безразмерная вспомогательная функция;  $\Delta$  – половина величины относительного зазора.

Функция давления в виде (54) характеризует удельную нагрузочную способность гидродинамического слоя, имеет размерность напряжения и дополняет рассмотренную выше

группу критериев. Она содержит безразмерную функцию геометрических параметров – функцию формы гидродинамического слоя и функцию напряжений в виде произведения динамической вязкости и частоты вращения. По сути, это удельная нагрузочная способность гидродинамического слоя, однако ее учет в расчетах нагрузочной способности зацепления требует данных о распределении вдоль линий зацепления, которыми мы не располагаем.

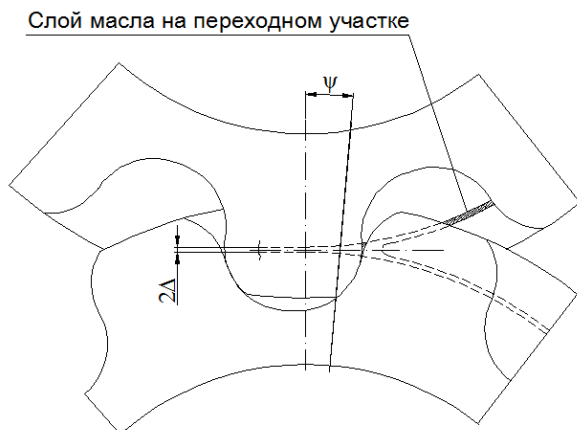


Рис. 10. Схема к определению функции давления

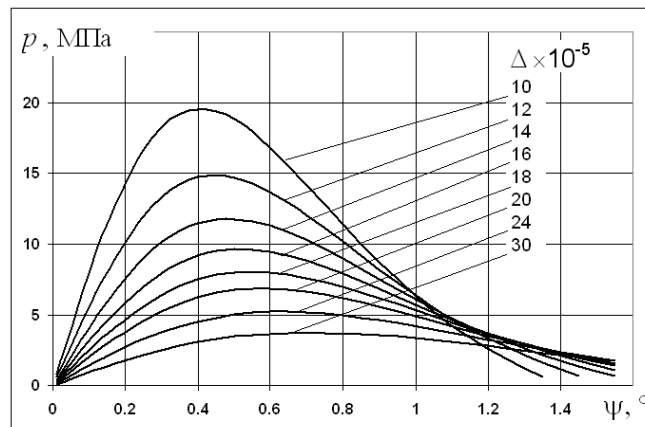


Рис. 11. Давление в гидродинамическом слое ( $\eta = 0.5 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ,  $\omega = 100 \text{ с}^{-1}$ ,  $k = 0,25$ )

На диаграмме (рис. 11) показаны графики функции давления для различных значений относительного зазора. Численные эксперименты показали необходимость ограничения максимального уровня сжатого слоя  $k_{\max} < 0.3$  и минимального относительного зазора  $\Delta_{\min} > 12 \times 10^{-5}$ . Отступление от этих ограничений приводит к отрицательным значениям функции давления и указывает на возможную неустойчивость гидродинамического слоя.

7. Условие собираемости зацепления с зазором между переходными участками.

На начальных окружностях зацепления сумма толщин сопрягаемых зубьев между контактирующими профилями должна равняться их шагу. В зацеплении М.Л. Новикова, образованном посредством элементарного ИПК, начальные окружности пересекают переходные поверхности эвольвентного профиля, что позволяет применить уравнение собираемости эвольвентного зацепления [17]:

$$\left( \frac{z_2}{z_1} + 1 \right) \text{inv} \alpha_{we} = \text{inv} \vartheta_1 + \frac{z_2}{z_1} \text{inv} \vartheta_2 - \frac{\pi}{z_1}, \quad (56)$$

где  $\alpha_{we}$  – угол зацепления переходных эвольвент в зацеплении без зазора.

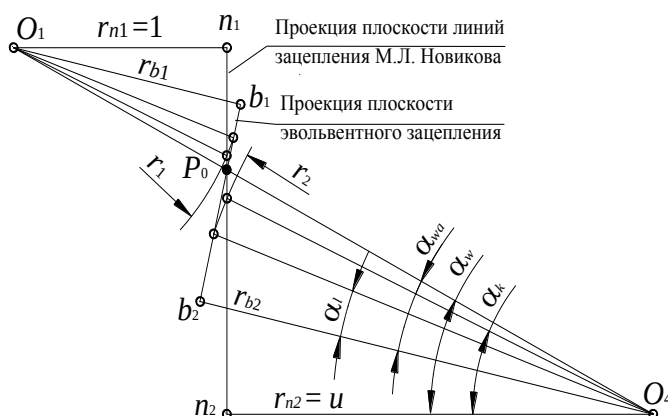


Рис. 12. Схема зацепления переходных эвольвентных участков

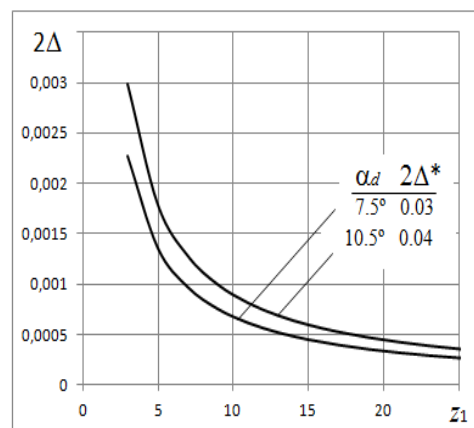


Рис. 13. Зависимость относительного зазора от  $z_1$  и  $2\Delta^*$

Из геометрических соотношений рис. 12 для зацепления, собранного в межосевом расстоянии  $a_w$ , угол зацепления переходных эвольвент равен

$$\alpha_{wa} = \arccos \frac{\cos \alpha_l \cos \alpha_w}{\cos \alpha_k}. \quad (57)$$

Относительный нормальный зазор определяется выражением

$$2\Delta_e = \left( \frac{z_2}{z_1} + 1 \right) \left( \operatorname{tg} \alpha_{wa} - \operatorname{tg} \alpha_{we} \right) \frac{\cos \alpha_l}{\cos \alpha_k}; \quad (59)$$

откуда с учетом (32) следует коэффициент нормального зазора:

$$2\Delta_e^* = 0.5(z_1 + z_2) \left( \operatorname{tg} \alpha_{wa} - \operatorname{tg} \alpha_{we} \right) \cos \alpha_l. \quad (58)$$

Зазор  $2\Delta_e$  между переходными поверхностями в рабочем зацеплении должен удовлетворять условию

$$2\Delta_e \geq 2\Delta_{\min}, \quad (60)$$

причем, проверяя неравенство (60), следует учитывать технологические погрешности изготовления зубчатых колес и шероховатость поверхности зубьев.

#### 8. Условие двухточечного контакта и зазора в зацеплении пары ИПК.

Сопряженное зацепление с точечным контактом получают при условии линейного контакта пары производящих поверхностей и точечного контакта, соответствующих им ИПК [15]. Следовательно пара элементарных ИПК, удовлетворяющая зацеплению М.Л. Новикова с двумя линиями зацепления, должна иметь двухточечный контакт и зазор  $2\Delta$  (см. рис. 8). Из геометрии сопряжения следует выражение для углового параметра точки  $d$  в ИПК:

$$\alpha_d = \alpha_l + \arccos \frac{\rho_f^* - (\rho_f^* - \rho_a^*) \cos(\alpha_k - \alpha_l) - 2\Delta^*}{\rho_a^*}. \quad (61)$$

Если в точке  $d$  переходный отрезок и дуга головки имеют общую нормаль, то есть контур гладкий, а углы  $\alpha_d = \alpha_l$ , коэффициент зазора принимает минимальное значение:

$$2\Delta^* = (\rho_f^* - \rho_a^*)(1 - \cos(\alpha_k - \alpha_l)). \quad (62)$$

В элементарном ИПК при  $\alpha_k = 27.5^\circ$ ;  $\alpha_l = \alpha_d = 7.5^\circ$ ;  $\rho_f^* = 0.75$ ;  $\rho_a^* = 0.70$  минимальное значение коэффициента зазора  $2\Delta^* = 0.003$ .

Зависимость относительного зазора от его модульного коэффициента и числа зубьев шестерни показана на графике рис. 13, из которого следует, что значение относительного зазора убывает с ростом числа зубьев и возрастает с ростом  $\alpha_d$ . Для исключения смещения контакта на переходные поверхности профилей для ИПК принято  $\alpha_d = 10^\circ$ .

#### 9. Условие размещения площадки контакта.

С уменьшением числа зубьев дуга  $ad$  головки становится короче за счет подреза переходным участком ИПК, однако она должна оставаться достаточной для размещения площадки контакта. Из геометрических связей (см. рис. 7) следует, что для размещения малой полуоси эллиптической площадки контакта необходимо выполнить условие:

$$\alpha_k - \alpha_{d1,2} \geq \frac{b^*}{\rho_a^*}, \quad (63)$$

$$\alpha_{a1,2} - \alpha_k \geq \frac{b^*}{\rho_a^*}. \quad (64)$$

Координаты точек  $d_{1,2}$  определяются как точки пересечения окружностей, содержащих дугу головки, с переходными эвольвентами. Уравнения окружности в полярных координатах для точек  $d_{1,2}$ :

$$r_{d1}^2 - 2r_{d1} \frac{\cos(\chi_{d1} - \varphi_{p1})}{\cos \alpha_k} + \frac{1}{\cos^2 \alpha_k} = \left( \rho_a^* \frac{2}{z_1 \cos \alpha_k} \right)^2; \quad (65)$$



$$r_{d2}^2 - 2r_{d2} \frac{z_2 \cos(\chi_{d2} - \varphi_{p2})}{z_1 \cos \alpha_k} + \frac{z_2^2}{z_1^2 \cos^2 \alpha_k} = \left( \rho_a^* \frac{2}{z_1 \cos \alpha_k} \right)^2. \quad (66)$$

$$\chi_{d1,2} = \text{inv} \vartheta_{1,2} - \text{inv} \alpha_{d1,2}. \quad (67)$$

$\vartheta_{1,2}$  – углы эвольвентных профилей в верхней предельной точке:

$$\text{inv} \vartheta_{1,2} = \text{inv} \alpha_l + \frac{\pi - 2\rho_f^* \cos \alpha_l - y_{1,2}^*}{z_{1,2}}. \quad (68)$$

Так как точка  $d$  принадлежит окружности и переходной эвольвенте:

$$r_{d1} = \frac{\cos \alpha_l}{\cos \alpha_k \cos \alpha_{d1}}; \quad (69)$$

$$r_{d2} = \frac{z_2 \cos \alpha_l}{z_1 \cos \alpha_k \cos \alpha_{d2}}, \quad (70)$$

уравнения (65)–(70) сводятся к уравнению

$$\frac{\cos^2 \alpha_l}{\cos^2 \alpha_{d1,2}} - 2 \frac{\cos \alpha_l \cos(\text{inv} \vartheta_{1,2} - \text{inv} \alpha_{d1,2} - \varphi_{p1,2})}{\cos \alpha_{d1,2}} + 1 = \left( \rho_a^* \frac{2}{z_{1,2}} \right)^2, \quad (71)$$

которое решается методами итерации относительно  $\alpha_{d1,2}$ .

10. *Условие равной нагрузочной способности зацепления по контактной прочности и прочности на изгиб.*

Условие следует из равенства функций (15), (28):

$$\sin^4 \beta \cos^2 \beta = \frac{\sigma_{H \lim 1,2}^3 K_{IV}^3 S_{F1,2} K_F}{\sigma_{F \lim b1,2}^0 Z_E^4 S_{H1,2}^3 K_H} \times \frac{\pi z_1^2 \cos \alpha_w}{6 \sin^2 \alpha_w} \times \frac{\lambda^3 \mu^3 u^2}{(u+1)^2} \delta_{Ya} Y_{FS1,2} \quad (72)$$

и показывает возможность перераспределения напряжений контакта и изгиба за счет изменения угла наклона зубьев.

11. *Условие максимальной прочности зубьев на изгиб.*

Функция (28) имеет максимум при  $\beta = 35.3^\circ$ . Однако разница значений функции для углов наклона  $35.3^\circ$  и  $30^\circ$  не превышает 3% и назначать высокие значения  $\beta$  нецелесообразно ввиду роста осевой нагрузки на опоры.

12. *Условие выбора коэффициента перекрытия и числа точек контакта.*

Целевые функции (15), (28) содержат отношение минимального числа точек контакта  $K_\varepsilon$  к коэффициенту  $\varepsilon_\beta$  осевого перекрытия. Как следует из трудов [8–10], отношение принимает максимальное значение и равно 2 при натуральных значениях коэффициента перекрытия:

$$\varepsilon_\beta = 1, 2, 3, \dots \quad (73)$$

В этом случае линии зацепления имеют равное число точек контакта, и плавность работы зацепления улучшается. В общем случае число точек контакта зависит от перекрытия осевых шагов разных линий зацепления. Отношение большего участка перекрытия к шагу называют *коэффициентом фазового перекрытия*. Он имеет одинаковое значение для осевых и торцовых шагов, и определяется как функция параметров ИПК с учетом (36) (см. рис. 8).

$$\varepsilon_q = 1 - \frac{l_k \cos \alpha_k}{\pi} = 1 - \frac{\rho_f^* (\sin \alpha_k - \sin \alpha_l) + \rho_a^* \sin \alpha_k}{\pi t g \alpha_k}. \quad (74)$$

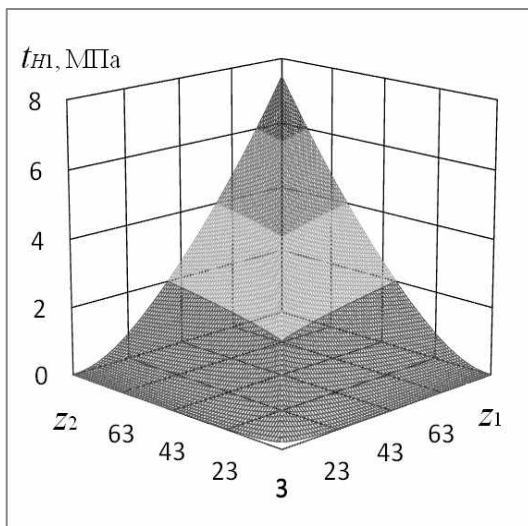
Отношение  $K_\varepsilon/\varepsilon_\beta$  принимает значение несколько меньшее 2, когда коэффициент осевого перекрытия равен сумме натурального числа и коэффициента фазового перекрытия, но в этом случае линии зацепления имеют разное число точек контакта и плавность работы зацепления может ухудшиться. При других значениях коэффициента перекрытия отношение  $K_\varepsilon$  и  $\varepsilon_\beta$  существенно уменьшается. Для элементарного ИПК  $\varepsilon_q \approx 0,8$ .

Рассмотренные условия содержат необходимую систему совместных соотношений для определения геометрических параметров при заданных числах зубьев  $z_{1,2}$ :  $\alpha_w$  – из соотношений (33) с учетом (34), (38);  $r_{l1,2}$ ,  $\chi_{l1,2}$  – из (43), (44), (45) с учетом (39), (40), (46);  $r_{f1,2}$ ,  $\chi_{f1,2}$  – из (47), (48) с учетом (49), (50);  $r_{a1,2}$ ,  $\chi_{a1,2}$  – из (51), (52), (53);  $r_{d1,2}$ ,  $\chi_{d1,2}$  – из (69), (70), (71) с учетом (39), (40), (46);  $\beta$  – с учетом соотношения (72), но не более  $35.3^\circ$ ;  $\varepsilon_\beta$  – из ряда натуральных чисел (73).

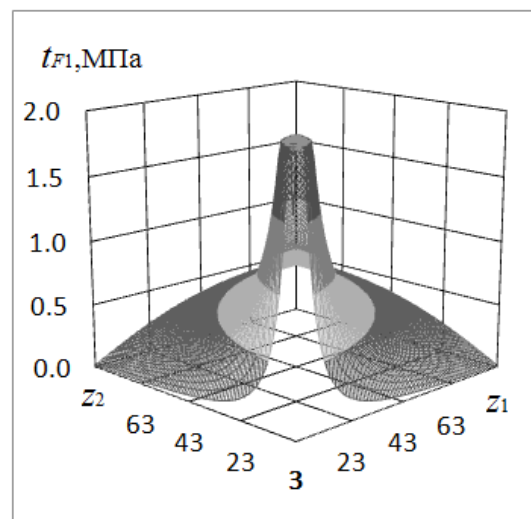
Совпадение числа переменных с числом связывающих их условий указывает на возможность единственного решения. Отсюда следует важное следствие:

*Синтез оптимизированных зацеплений М.Л. Новикова, расчет их геометрии, показателей качества и нагрузочной способности может быть выполнен для двухмерного массива натуральных независимых переменных  $z_{1,2}$ .*

Численное решение задачи оптимизации получено в виде трехмерного массива  $\{z_1, z_2, N\}$ , каждый элемент которого определен целочисленными координатами, где  $N$  – номер расчетной величины, расположенной в  $N$ -м уровне над двумерным массивом натуральных чисел  $z_1 \times z_2$ . Такая структура решения позволяет представить каждую расчетную величину в виде условной поверхности, заданной натуральными координатами  $z_1$  и  $z_2$ . На рис. 14 и рис. 15 в виде условных поверхностей представлены главные целевые функции удельной нагрузочной способности  $t_{H1}$  и  $t_{F1}$ .



**Рис. 14. Удельная нагрузочная способность для условий контактной прочности ( $\beta=20^\circ$ ;  $\sigma_{Hlim1}/S_1 = 500$  МПа)**



**Рис. 15. Удельная нагрузочная способность для условий прочности на изгиб ( $\beta=20^\circ$ ;  $\sigma_{Flim1}/S_{F1} = 290$  МПа)**

Из диаграмм видно, что удельная нагрузочная способность зацепления  $t_H$  для контактной прочности есть возрастающая функция, а удельная нагрузочная способность зацепления  $t_F$  для прочности на изгиб есть убывающая функция относительно чисел зубьев.

Отношение  $t_F/t_H$  характеризует перегрузочную способность зацепления и представлено в виде изолиний  $t_{F1}/t_{H2} = 1$  и  $t_{F1}/t_{H1} = 2$  условной поверхности на диаграмме (рис. 16).

Изолинии разделяют массив  $z_1 \times z_2$  на области, существенно отличающиеся перегрузочной способностью. Каждой области поставлены в соответствие серии зацеплений: *тяжелая* –  $t_F/t_H > 2$ , *средняя* –  $1 \leq t_F/t_H \leq 2$  и *легкая* –  $t_F/t_H \leq 1$ . Деление зацеплений на серии позволяет полнее учитывать условия эксплуатации и решать задачи унификации под возможности конкретного производства.

Условная поверхность коэффициентов формы зубьев шестерни в оптимизированном зацеплении М.Л. Новикова представлена на диаграмме (рис. 17). Коэффициенты формы зубьев определялись методом ломаных сечений [18]. Значения коэффициентов оказались

существенно ниже, чем в зацеплениях с исходным контуром по ГОСТ 15023-76 [8]. Это объясняется меньшей высотой и большей шириной зубьев, образуемых элементарным ИПК в двухпозиционном обкате.

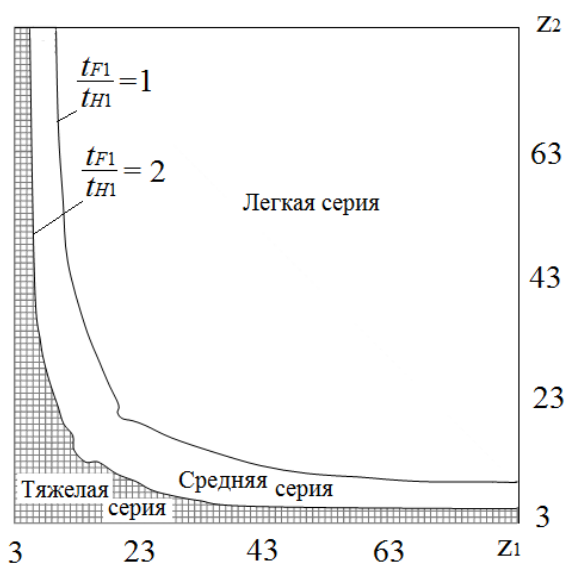


Рис. 16. Серии зацеплений для сочетаний чисел зубьев

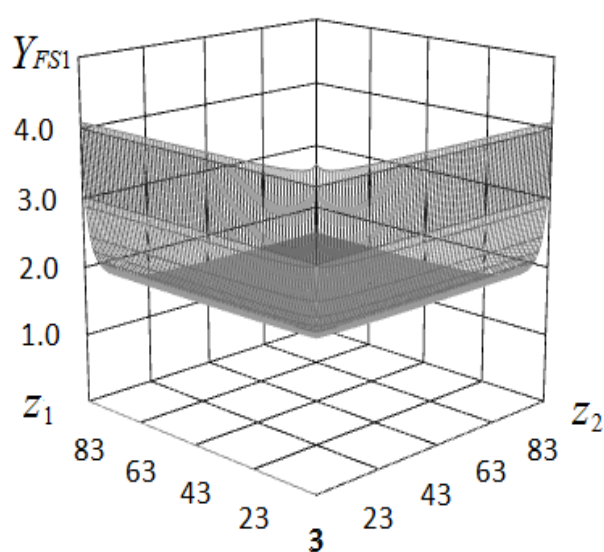


Рис. 17. Коэффициентов формы зуба шестерни

С целью сравнения нагрузочной способности оптимизированных зацеплений М.Л. Новикова и эвольвентного определены отношения главных целевых функций для зубчатых колес из улучшенной стали. На диаграмме (рис. 18) представлено отношение главных целевых функций для условий контактной прочности, на диаграмме (рис. 19) – для условий прочности на изгиб. Отношение целевых функций на диаграмме (рис. 18) возрастает от 1.5 до двухзначных значений. Это объясняется с тем, что возрастание числа зубьев шестерни в разной степени влияет на нагрузочную способность зацеплений.

На диаграмме (рис. 19) видна изолиния равнопрочности зацеплений  $t_{F1Нов.}/t_{F1Эвол.}=1$ , которая реализуется при  $z_{1,2} = 23, 24$ . С увеличением угла наклона зубьев изолиния расчетной равнопрочности смещается в сторону больших чисел зубьев.

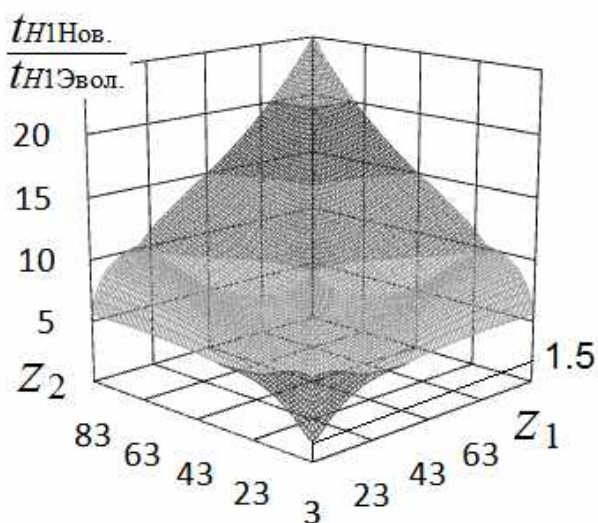


Рис. 18. Отношение показателей удельной нагрузочной способности – условие контактной прочности ( $\beta=20^\circ$ ;  $\sigma_{Hlim1}/S_1 = 500$  МПа)

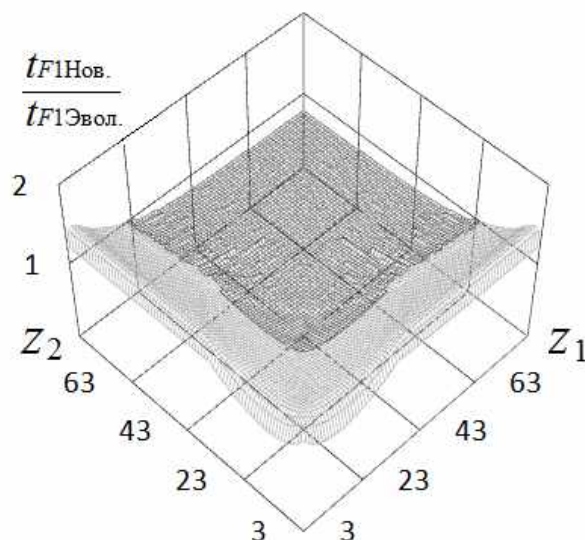


Рис. 19. Отношение показателей удельной нагрузочной способности – условие прочности на изгиб ( $\beta=20^\circ$ )

Объективное сравнение зацеплений следует вести по лимитирующей удельной нагрузочной способности  $t$ , которая определяется наименьшим из показателей  $t_H$ ,  $t_F$ , (см. (4)). Условные поверхности  $t_{\text{Нов}}$  и  $t_{\text{Эвол}}$  для зубчатых колес из улучшенной стали представлены на диаграммах рис. 20 и рис. 21, а их отношение на диаграмме (рис. 22). Из последней следует, что лимитирующая нагрузочная способность оптимизированного зацепления М.Л. Новикова выше, чем у оптимизированного эвольвентного зацепления.

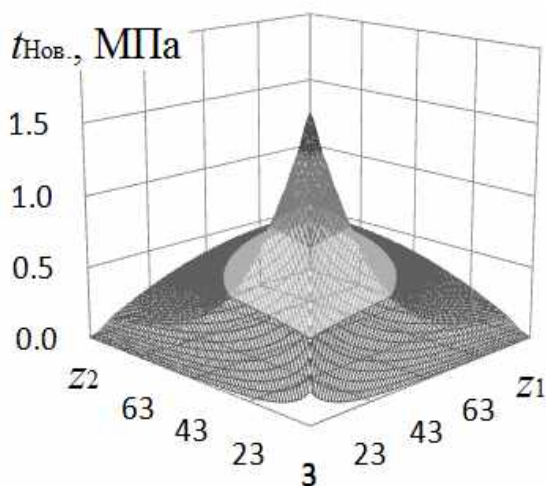


Рис. 20. Лимитирующая нагрузочная способность зацепления М.Л. Новикова ( $\beta=20^\circ$ ;  $\sigma_{Hlim1}/S_{1H} = 500$  МПа;  $\sigma_{Fim1}/S_{1F} = 290$  МПа)

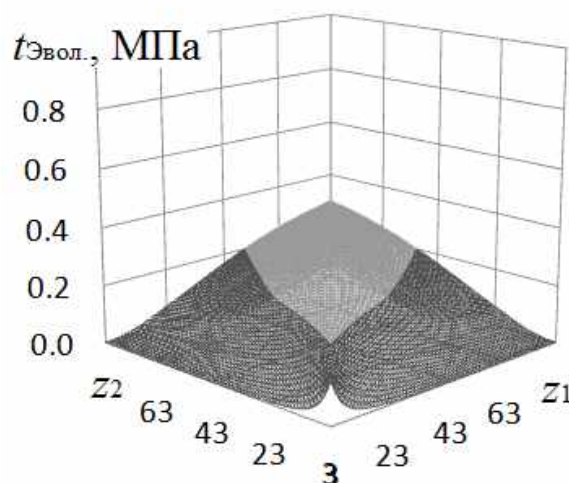


Рис. 21. Лимитирующая нагрузочная способность эвольвентного зацепления ( $\beta=20^\circ$ ;  $\sigma_{Hlim1}/S_{1H} = 500$  МПа;  $\sigma_{Fim1}/S_{1F} = 290$  МПа)

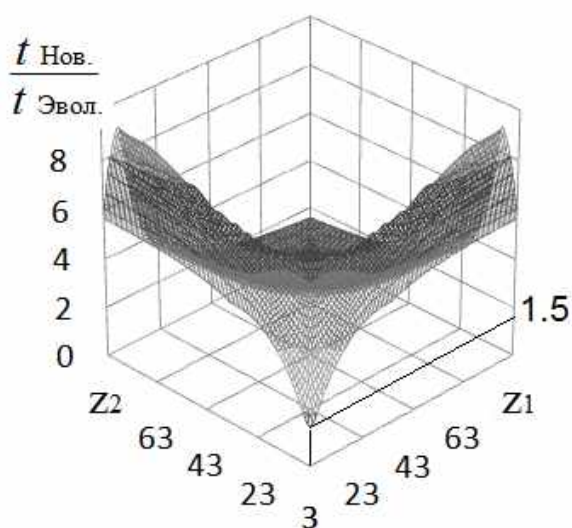


Рис. 22. Сравнение зацеплений ( $\beta=20^\circ$ ;  $\sigma_{Hlim1}/S_{1H} = 500$  МПа;  $\sigma_{Fim1}/S_{1F} = 290$  МПа)

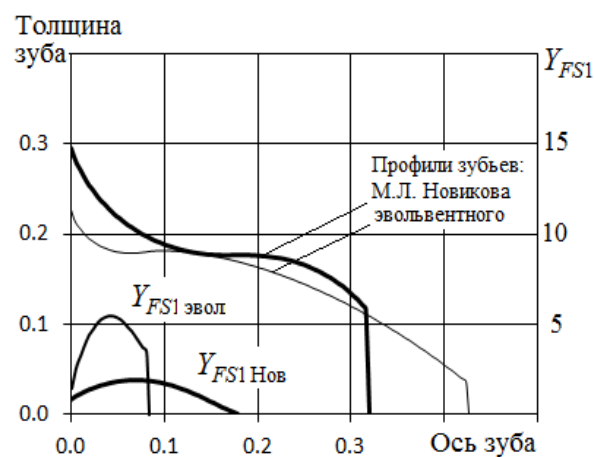


Рис. 23. Профили зубьев и эпюры коэффициентов формы зубьев шестерни для  $z_1=10$ ,  $z_2=36$

Рациональный выбор вида зацепления предполагает анализ всех целевых функций, а также технологических возможностей изготовителя. Для обоснования проектных решений создана методика и программное средство совместной разработки оптимизированных зацеплений М.Л. Новикова и эвольвентного по единым исходным данным. В табл. 1. приведены значения целевых функций для пяти вариантов зацепления с передаточным числом 3.6.

Вариант 1: косозубое эвольвентное зацепление с цементированными зубьями.

Вариант 2: прямозубое эвольвентное зацепление с цементированными зубьями.

Вариант 3: зацепление М.Л. Новикова с цементированными зубьями.

Вариант 4: зацепление М.Л. Новикова с зубчатыми колесами из улучшенной стали.

Для первых четырех вариантов  $z_1 = 13$ ,  $z_2 = 47$ .

Вариант 5: зацепление М.Л. Новикова с зубчатыми колесами из улучшенной стали,  $z_1 = 13$ ,  $z_2 = 47$ .

Наибольшей удельной нагрузочной способностью обладает оптимизированное зацепление М.Л. Новикова по варианту 3. Однако его выбор предполагает освоение технологий высокоточной обработки зубчатых колес. Производители, как правило, отклоняют этот вариант, опасаясь инновационных рисков.

Таблица 1

**Значения целевых функций для вариантов зацепления  
с передаточным числом  $u \approx 3.6$**

| ВАРИАНТЫ ЗАЦЕПЛЕНИЙ                              |                 |         | Эвольвентное               |       | М. Л. Новикова |                         |       |
|--------------------------------------------------|-----------------|---------|----------------------------|-------|----------------|-------------------------|-------|
| Наименование величин                             | Обозначение     | Единицы | 1                          | 2     | 3              | 4                       | 5     |
| Вращающий момент                                 | T <sub>1</sub>  | Нм      | 500                        | 500   | 500            | 500                     | 500   |
| Число зубьев шестерни                            | z <sub>1</sub>  | 1,00    | 10                         | 10    | 10             | 10                      | 13    |
| Число зубьев колеса                              | z <sub>2</sub>  | 1,00    | 36                         | 36    | 36             | 36                      | 47    |
| Угол наклона зубьев                              | β               | °       | 20                         | 0     | 20             | 20                      | 20    |
| Термическая обработка                            |                 |         | Цементация, закалка ≥56HRC |       |                | Улучшение, 290 - 320 HB |       |
| Целевые функции для условий контактной прочности |                 |         |                            |       |                |                         |       |
| Функция допускаемых напряжений                   | q <sub>H1</sub> | МПа     | 40,50                      | 40,50 | 40,50          | 9,80                    | 9,80  |
| Функция зацепления                               | γ <sub>H</sub>  | 1,00    | 0,64                       | 0,42  | 5,82           | 2,50                    | 3,25  |
| Функция структуры                                | v <sub>H</sub>  | 1,00    | 56,04                      | 56,04 | 52,49          | 52,49                   | 52,49 |
| Удельная нагрузочная способность                 | t <sub>H1</sub> | МПа     | 0,46                       | 0,30  | 4,49           | 0,47                    | 0,57  |
| Целевые функции для условий прочности на изгиб   |                 |         |                            |       |                |                         |       |
| Функция допускаемых напряжений                   | q <sub>F</sub>  | МПа     | 390                        | 390   | 390            | 310                     | 310   |
| Функция зацепления                               | v <sub>F1</sub> | 1,00    | 0,063                      | 0,053 | 0,08           | 0,08                    | 0,062 |
| Функция структуры                                | v <sub>F</sub>  | 1,00    | 43,86                      | 43,86 | 43,86          | 43,86                   | 43,86 |
| Удельная нагрузочная способность                 | t <sub>F1</sub> | МПа     | 0,56                       | 0,47  | 0,71           | 0,56                    | 0,43  |
| Лимитирующая удельная нагрузочная способность    | t               | МПа     | 0,46                       | 0,47  | 0,71           | 0,47                    | 0,43  |

Численное решение задачи оптимизации геометрических параметров зацепления М.Л. Новикова содержит в безразмерном виде данные, необходимые для инженерной разработки зацеплений по заданной нагрузке  $T_1$  (или параметрам  $a_{tw}$ ,  $b_w$ ) и функции допускаемых напряжений  $q$ .

*Пример.* Разработать оптимизированное зацепление М.Л. Новикова:  $z_1 = 10$ ;  $z_2 = 36$ ;

$T_1 = 500$  Нм;  $q_{H1,2} = 42,5$  МПа;  $q_{F1,2} = 390$  МПа – эмпирические значения, рассчитанные по формуле (29) для надежного серийного образца.

Для заданных чисел зубьев  $z_{1,2}$  из массива  $\{z_1, z_2, N\}$  выводим оптимизированные безразмерные параметры:  $r_{a1,2}$ ,  $r_{f1,2}$ ,  $\alpha_w$ ,  $\beta$ , коэффициенты смещения:  $y_{1,2}^*$ , коэффициенты формы зубьев  $Y_{FS1,2}$ , функции зацепления:  $\gamma_H$ ,  $\gamma_{F1,2}$  и структуры  $v_H$ ,  $v_F$ .

Из соотношений (4), (15), (28) получаем лимитирующее значение удельной нагрузочной способности  $t = t_{F1,2}$  и соответствующее значение  $q = q_{F1,2}$ .

Для определения линейных размеров стандартному ряду модулей  $m_i$  ставим в соответствие ряд возможных межосевых расстояний  $a_{wi}$ , полученный из формулы (35):

$$a_{wi} = m_i \frac{z_1 + z_2 + s^*}{2 \cos \beta \cos(\alpha_w - \alpha_k)}, \quad i = 1, 2, 3, \dots,$$

и ряд возможных рабочих ширин зубчатых венцов  $b_{wi}$ , полученный из формулы (29):

$$b_{wi} = \frac{T_1}{q} \left( \frac{v}{\gamma} \right) \frac{(u+1)^2}{\pi \alpha_{wi}^2 (u^2 + 1)}, \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

Таблица 2

Ряды основных линейных размеров

|               |       |       |       |        |        |        |
|---------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| $m_i$ , мм    | 2.80  | 3.15  | 3.35  | 4.00   | 4.50   | 5.00   |
| $a_{wi}$ , мм | 68.64 | 77.22 | 82.12 | 100.00 | 110.32 | 122.57 |
| $b_{wi}$ , мм | 72.40 | 57.21 | 50.58 | 35.00  | 28.03  | 22.71  |

Ряды основных линейных размеров представлены в табл. 2. Из условий компоновки передачи выбран вариант зацепления с модулем 4 мм. В целях приведения межосевого расстояния к ряду предпочтительных чисел угол наклона зубьев  $\beta$  изменен с 20 на 22.86°.

Сравнение результатов примера с результатами оптимизации аналогичного эвольвентного зацепления [6] показывает, что при одинаковой нагрузочной способности и ширине зацепления М.Л. Новикова имеет межосевое расстояние 100 мм, тогда как эвольвентное 140 мм. На рис. 23 показаны профили зубьев шестерни и эпюры коэффициентов формы  $Y_{FS1}$  для рассмотренного примера и эвольвентного зацепления [6].

Перспективы оптимизации зацепления М.Л. Новикова связаны с типизацией и последующей стандартизацией передач с предельными показателями расчетной нагрузочной способности. Результатом стандартизации может стать развитие высокоточных автоматизированных технологий производства зубчатых колес с переходом на более высокий уровень точности и качества.

### Выводы

1. Конструктивно-технологическая оптимизация геометрических параметров зацепления М.Л. Новикова обеспечивает максимальные показатели расчетной нагрузочной способности, регламентируемые принятыми методиками расчета на прочность.

2. Расчетная нагрузочная способность зацеплений М.Л. Новикова выше, чем у эвольвентного зацепления для всех сочетаний зубьев колеса и шестерни.

3. Современное машиностроение ограничено в средствах технологического оснащения высокоточной обработки зубчатых колес зацепления М.Л. Новикова, что не позволяет реализовать его возможности в полном объеме.

4. Решение задачи оптимизации в виде трехмерного массива безразмерных расчетных величин для возможных чисел зубьев шестерни и колеса, упрощает инженерную разработку



передач с зацеплениями М.Л. Новикова и создает предпосылки типизации и стандартизации его зубчатых колес.

5. Типизация и стандартизация зубчатых колес передач М.Л. Новикова позволит развивать высокоточные автоматизированные технологии их производства, подобные технологиям подшипниковой и инструментальной промышленности.

6. Возможна разработка зацеплений М.Л. Новикова с зубчатыми колесами из улучшенной стали, которые по своей нагрузочной способности не уступают эвольвентному зацеплению зубчатых колес, подвергнутых химико-термическому упрочнению  $\geq 56$  HRC.

7. Зубчатые колеса зацеплений М.Л. Новикова могут быть изготовлены способом двухпозиционного обката универсальным инструментом с постоянными параметрами ИПК.

### Библиографический список

1. Колодкин, М.С. Сравнительные экспериментальные исследования нагрузочной способности зацеплений эвольвентного и М.Л. Новикова // Труды Ленинградской краснознаменной военно-воздушной инженерной академии им. А.Ф. Можайского, 1960. Вып. 313. С. 9–23.
2. Короткин, В.И. Сравнение зубчатых передач Новикова и эвольвентных передач // Вестник машиностроения. 2009. №1. С. 3–8.
3. Парубец, В.И. Дискуссия о зацеплении Новикова и ее итоги. Актуальные задачи машиноведения, деталей машин и триботехники // Труды Международ. науч. - техн. конф. 27–28 апреля 2010 г. / Балт. гос. техн. ун-т. СПб. – 277 с. С. 15–20.
4. Андриенко, Л. А. Критерий удельной нагрузочной способности механических передач / Л. А. Андриенко, А.Н. Петровский // Изве. вузов. Машиностроение. 2008. № 7. С. 22–32.
5. Попов, П.К. Обобщенная оценка совершенства механических передач: справочник / П.К. Попов, Л.А. Андриенко, А.Н. Петровский // Инженерный журнал. 2009. № 7. С. 20–31; №8. С. 6–12.
6. Петровский А.Н. Конструктивно-технологическая оптимизация геометрических параметров эвольвентного зацепления // Вестник машиностроения. 2012. № 3. С. 41–49.
7. Пат. 2412026 РФ, МКП В23F5/14, В23F5/14. Способ образования зубчатых передач двухпозиционным обкатом / А.Н. Петровский // Изобретения. Полезные модели. Бюлл. №5. 2011.
8. Кудрявцев В.Н. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / В.Н. Кудрявцев. – Л.: Машиностроение, 1980. – 464 с.
9. Кудрявцев, В.Н. Конструкции и расчет зубчатых редукторов: справочное пособие / В.Н. Кудрявцев, Ю.А. Державец, Е.Г. Глухарев. – Л.: Машиностроение, 1971. – 328 с.
10. Тимошенко, С.П. Теория упругости: [пер. с англ.] / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер; под ред. Г.С. Шапиро. – 2-е изд. – М.: Наука, 1979. – 560 с.
11. Прочность, устойчивость, колебания: справочник в трех томах / под ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. Т. 2. – 463 с.
12. Короткин, В.И. Зубчатые передачи Новикова. Достижения и развитие / В.И. Короткин, Н.П.Онишков, Ю.Д. Харитонов. – М.: Машиностроение -1, 2007. – 384 с. С. 48, 49–61.
13. Яковлев А.С. Определение напряжений изгиба в зубьях цилиндрических передач Новикова // Вестник машиностроения. 1984. № 6. С. 18–20.
14. Передачи зубчатые Новикова с твердостью рабочих поверхностей зубьев  $\geq 35$  HRC и более. Расчет на прочность. Метод. рекомендации МР – 221 – 86. М.: ВНИИТМАШ. 1987. – 86 с.
15. Литвин, Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин. – М.: Наука, 1968. – 584 с.
16. Слѣзкин, Н. А. Динамика несжимаемой жидкости / Н. А. Слѣзкин. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы. 1955. – 520 с.
17. Вулгаков, Э.Б. Теория эвольвентных зубчатых передач / Э.Б. Вулгаков. – М.: Машиностроение, 1995. – 320 с.

18. Гавриленко, В.А. Зубчатые передачи в машиностроении / В.А. Гавриленко. – М.: Машгиз, 1962. – 531 с.

*Дата поступления  
в редакцию 26.12.2013*

**A.N. Petrovsky**

## **NOVIKOV GEARING PARAMETERS OPTIMIZATION PROBLEM**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The article deals with the improvement in quality, technological effectiveness and competitive strength of Novikov gearing through gear parameters optimization.

**Design/methodology/approach:** The optimization criterion used in the work is the specific load carrying capacity of gear. This parameter is defined as the ratio of gear torque rating to the sum of volumes of pitch cylinders of gear and wheel, is expressed in units of stress and is used to plot target functions. The parameter is numerically equal to the mean elastic strain energy per unit of pitch cylinder volume.

The optimization problem is cast as the system of equations of existence and quality of working and work-tool gears using the two-position gear generation process.

**Findings:** The numerical solution is obtained for the two-dimensional array of potential numbers of teeth in gear  $z_1$  and wheel  $z_2$ . Optimized parameters provide for the limit load carrying capacity regulated by the known strength calculation methods.

**Research limitations/implications:** The article shows that design load carrying capacity of the optimized Novikov gearing  $t_{Nov}$  is higher than that of the optimized involute gearing  $t_{inv}$ , ref. Fig. 1. Teeth in the optimized Novikov gearing are subject to significantly lower bending stress than the optimized involute gearing teeth. Tooth profiles and geometry factors are presented in the diagram, ref. Fig. 2. X- and Y-dimensions of profiles are expressed in fractions of the main gear circumference,  $Y_{FS1Nov}$  is the Novikov gearing tooth geometry factor;  $Y_{FS1inv}$  is the involute gearing tooth geometry factor.

**Originality/value:** Solving the optimization problem makes it easier to design competitive transmissions using the Novikov gearing and creates opportunities for their typification and standardization.

*Key words:* Novikov gearing, geared transmission, gearbox, two-position gear generation process, optimization, load carrying capacity, geometry factor, reliability, quality, noise, vibration.



## УДК 621.9

Ю.Г. Кабалдин<sup>1</sup>, Е.Е.Власов<sup>1</sup>, А.А. Просолович<sup>2</sup>, А.С. Хвостиков<sup>2</sup>

## ОЦЕНКА ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ НАНОСТРУКТУР

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет<sup>2</sup>

Изложена методология оценки фрактальной размерности наноструктурного состояния дислокационных структур и износостойких покрытий. Определена фрактальная размерность различных видов дислокационных структур и различных структур износостойких покрытий. Установлена связь фрактальной размерности с износостойкостью покрытий.

*Ключевые слова:* фрактальная размерность, износостойкие покрытия, дислокационные структуры.

В работах [1–3] показано, что при усталостных испытаниях ряда материалов на дислокационном уровне формируются наноструктуры – ячейки размером до 10 нм.

Наноструктуры представляют собой нанофрагменты дислокационных субструктур, возникающие под действием напряжений электронного ветра на общем фоне интенсивной механической нагрузки (~1 ГПа). Решающим фактором измельчения нанофрагментов под действием электрического тока являются напряжения электронного ветра, что подтверждено количественными оценками на дислокационном уровне описания для предела выносливости – 25% (усталость) и степени сужения образца (проволоки) при волочении – 20%.

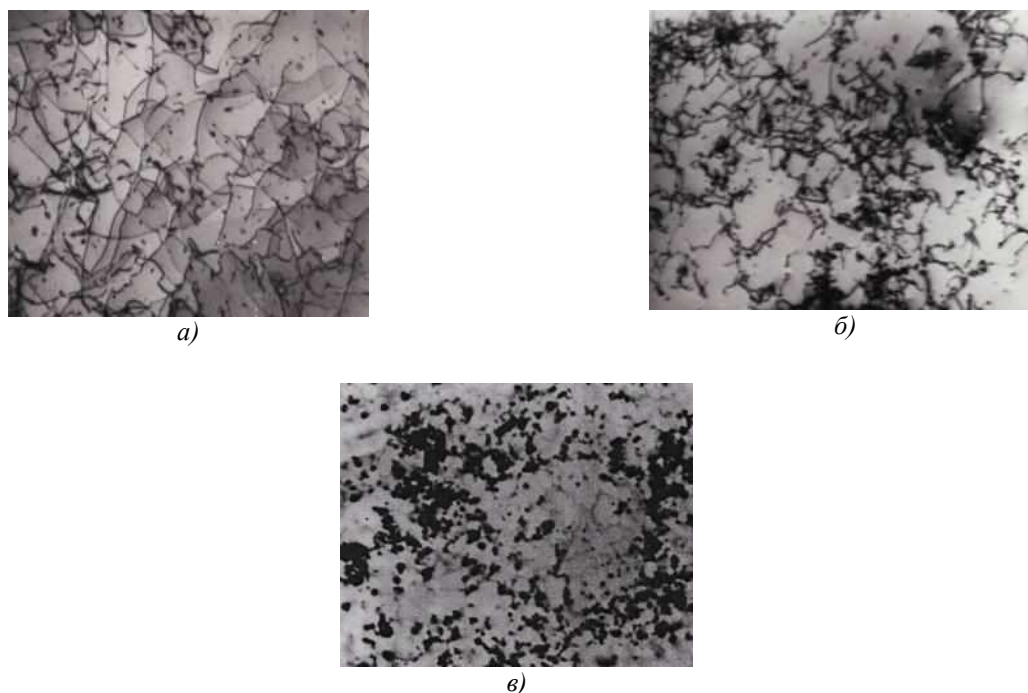
Таким образом, наноструктуры, сформированные из дислокаций и дислокационных субструктур под действием тока, подтверждают важность фактора подвижных дислокаций в задачах волочения и усталости [1].

При осаждении тугоплавких соединений из многоэлементных нитридов формируется наноструктурное состояние, что обеспечивает проявление покрытия и квантовых свойств – сверхпроводимости, высоких механических свойств, в частности, модуля упругости, модуля сдвига и т.д.

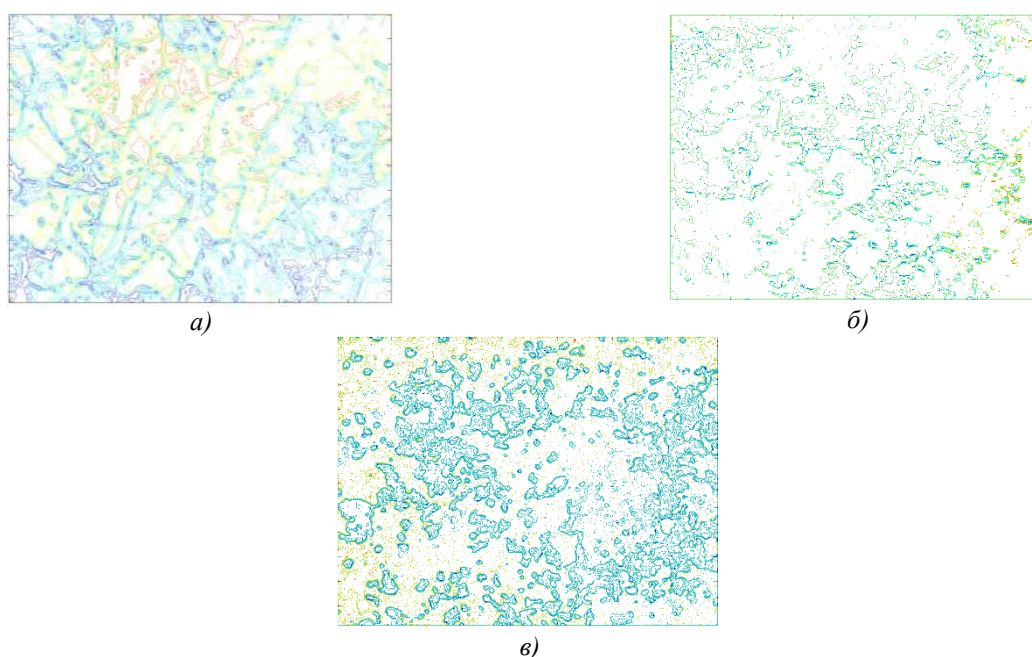
Методом оценки степени упорядоченности наноразмерных структур является фрактальная размерность [4], которая является характеристикой формы объектов и может быть вычислена различными экспериментальными методами. Процесс вычисления фрактальной размерности можно условно разбить на два этапа: этап получения экспериментальных и этап математической обработки данных.

Для вычисления фрактальной размерности был выбран клеточный метод. Вычисление фрактальной размерности заключается в следующем: цифровое изображение границ покрывалась сетками с квадратными ячейками. Для каждой сетки подсчитывалось количество квадратов, в которых находятся точки границ. Зависимость между числом квадратов и размеров сторон в двойных логарифмических координатах близка к линейной зависимости, угловой коэффициент  $k$  аппроксимирующей прямой (полученной линейной регрессией) соответствует фрактальной размерности. Вычисления проводились с помощью программы, составленной в ГОУ ВПО КнАГТУ. Для верификации работы программы производили расчеты фрактальной размерности кривой Коха и треугольника Серпинского, погрешность составила не более 0,1%.

При электронно-микроскопическом исследовании установлено, что при циклическом нагружении образование дислокаций сосредоточено вблизи границ ферритных зерен. Их формирование происходит уже на стадии микротекучести. По мере возрастания числа циклов нагружения в ферритных зернах на стадии деформационного упрочнения образуются хаотическая (рис. 1, а) и ячеистая дислокационные структуры (рис. 1, б), которые с ростом числа циклов нагружения переходит в фрагментированную (рис. 2, в), а затем в полосовую.



**Рис. 1. Электронные микрофотографии деформированных образцов из стали 20:**  
*а* - хаотическая дислокационная структура в ферритных зернах (x14000);  
*б* - ячеистая дислокационная структура на стадии деформационного упрочнения (x14000);  
*в* - фрагментированная дислокационная структура (x14000)



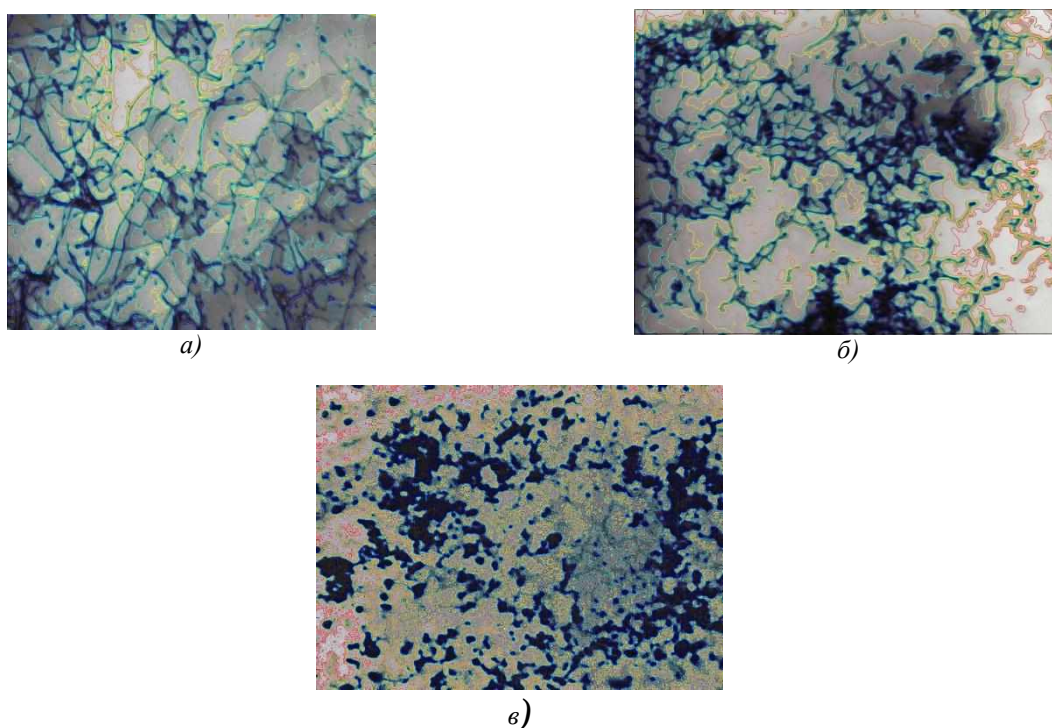
**Рис. 2 Кривые, огибающие максимы модуля вейвлет-спектра, характеризующие структурные изменения дислокационной структуры в деформированных объемах образцов из стали 20:**  
*а* - хаотическая дислокационная структура в ферритных зернах (x14000);  
*б* - ячеистая дислокационная структура на стадии деформационного упрочнения (x14000);  
*в* - фрагментированная дислокационная структура

Электронные микрофотографии для выявления границ разделения зерен были подвернуты двумерному вейвлет-анализу. После чего на плоскости строили кривую, огибающую максиму модуля вейвлет-спектр двумерного вейвлет-анализа (рис. 2). Проверка пра-

вильности определения структуры с помощью совмещения электронных микрофотографий деформированных образцов из стали 20 с кривыми, огибающими максимы модуля вейвлет-спектра (рис. 3), показала, что границы были определены правильно. После чего определялась фрактальная размерность кривых, огибающих максимы модуля вейвлет-спектра, характеризующие структурные изменения дислокационной структуры в деформированных объемах образцов из стали 20 поточным методом. Результаты расчетов представлены на рис. 4.

Проведенные исследования позволили идентифицировать предложенные критерии (фрактальная размерность) оценки структурного состояния деформированных материалов в виде электронно-микроскопических исследований структурных превращений, микро- и макроразрушения материалов.

Рост фрактальной размерности свидетельствует о том, что в дефектной подсистеме происходит не только периодическая временная, но и периодическая пространственная организация (упорядоченность) структуры из-за роста степеней свободы.



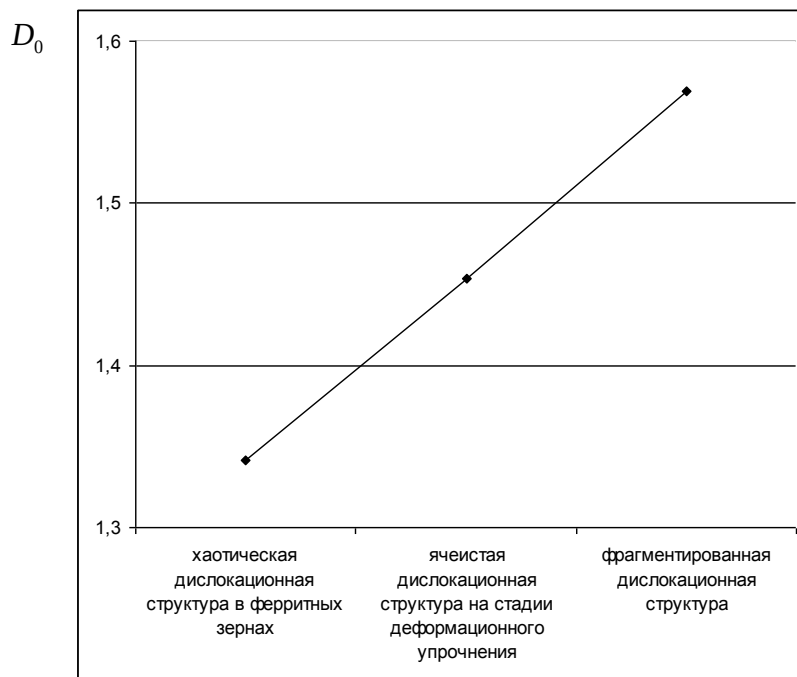
**Рис. 3. Электронные микрофотографии деформированных образцов из стали 20, совмещенные с кривыми, огибающими максимы модуля вейвлет-спектра:**

- а* - хаотическая дислокационная структура в ферритных зернах (x14000);  
*б* - ячеистая дислокационная структура на стадии деформационного упрочнения (x14000);  
*в* - фрагментированная дислокационная структур

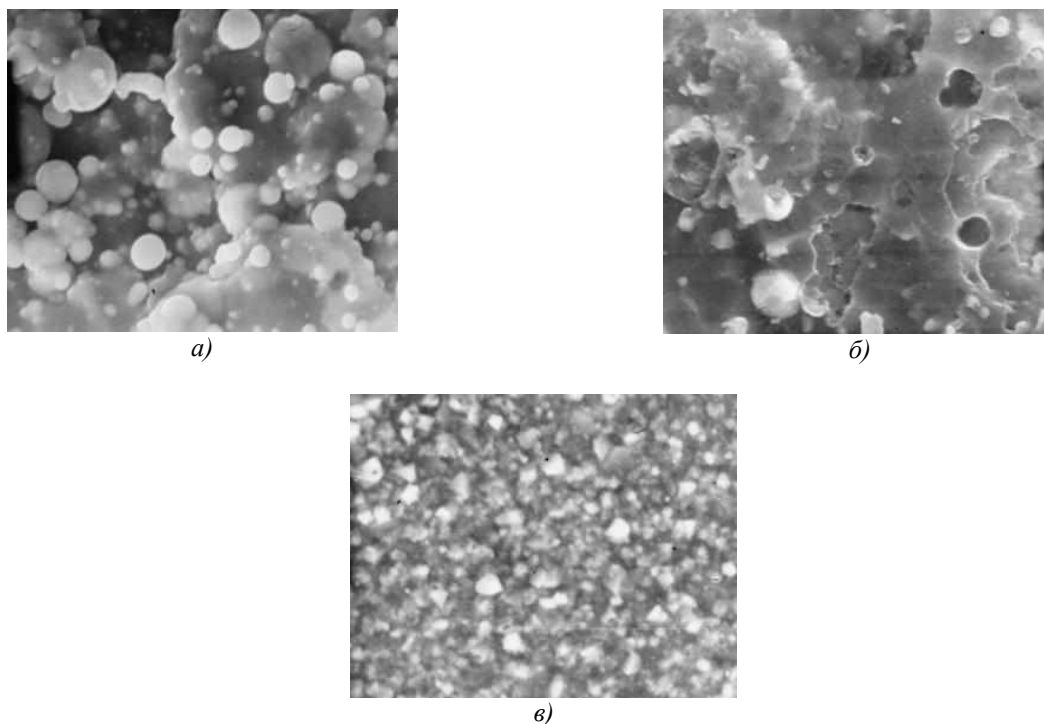
Анализ электронно-микроскопических исследований, фрактального и вейвлет-анализа при анализе электронных микрофотографии в процессе усталостных испытаний показывает, что эволюция дефектной структуры связана с накоплением энтропии с помощью диссипативных структур в циклически деформированных объемах. Это сопровождается установлением в дефектной подсистеме параметра порядка, который благодаря принципу подчинения выполняет роль информатора и контролирует структурные превращения от хаотической дислокационной структуры, образующейся при начальных циклах нагружения к ячеистой, далее – к фрагментированной и полосовой с последующим образованием микротрещин.

Среди активно развиваемых методов производства наноструктур ионно-имплантационная нанотехнология занимает особое место, поскольку в отличие от всех других методов, позволяет в любом материале формировать фазы выделений практически из

любых химических элементов. Высокодозная ионная имплантация является установившимся инструментом для синтеза в твердых телах наноструктур с целью модифицирования свойств материалов, что имеет бесконечное технологическое применение. В последнее время ведутся интенсивные исследования по применению ионной имплантации к решению проблем нанотехнологии.



**Рис. 4** Диаграмма фрактальной размерности кривых, огибающих максимы модуля вейвлет-спектра, характеризующие структурные изменения дислокационной структуры в деформированных объемах образцов из стали 20



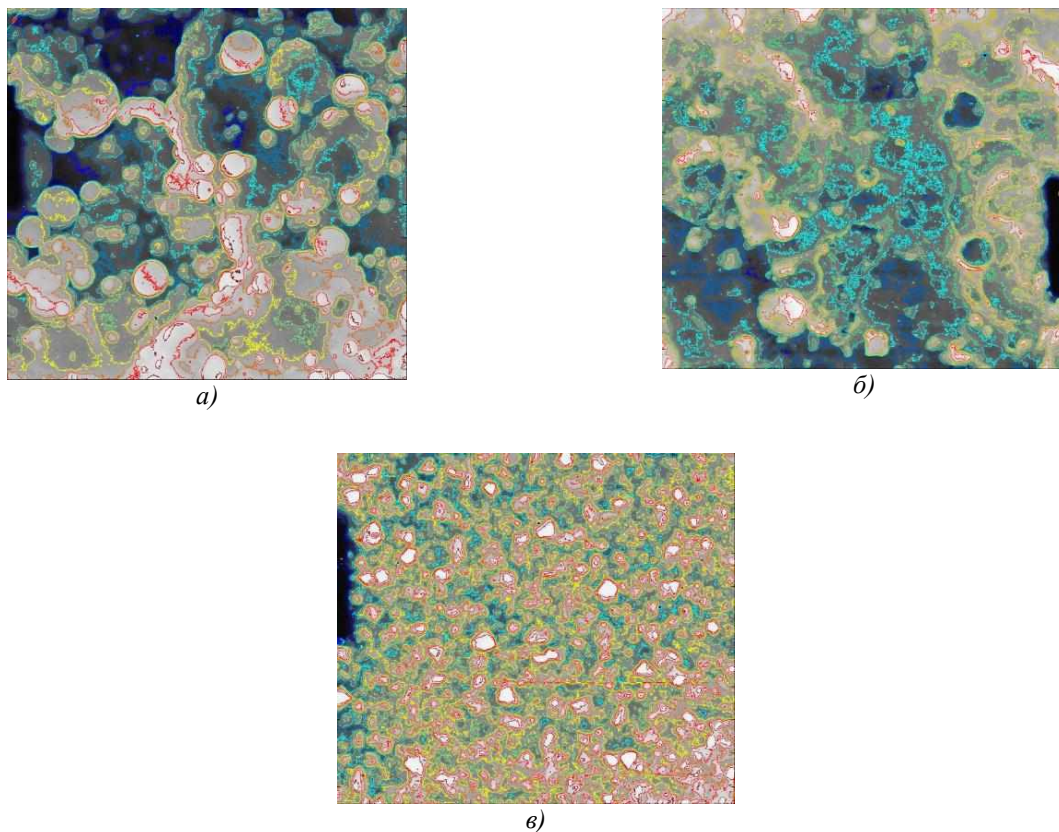
**Рис. 5.** Электронные микрофотографии поверхностной структуры покрытий:  
а, б - TiN (x5000); в - TiC+Ti(C-N)+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (x5000)



При изготовлении инструмента с комплексом указанных свойств на поверхности и в объеме тела в настоящее время используют различного рода износостойкие покрытия (ИП). Повышение износостойкости инструмента путем использования ИП из нитридов титана и других тугоплавких элементов весьма перспективно. ИП характеризуются уникальной комбинацией свойств: высокой твердостью при повышенных температурах в зоне контакта, термической и химической устойчивостью и низкой термической проводимостью. Высокая износостойкость таких ИП достигается за счет измельчения зерна до манометрического уровня (размер зерна менее 100 нм) в процессе нанесения ИП на инструментальную основу с высокой плотностью дислокаций. В настоящей работе приведены результаты исследования износостойкости ИП влияния на эти процессы нанокристаллической дислокационной структуры ИП в условиях точения.

На рис. 5 показаны электронные микрофотографические фотографии поверхностной структуры покрытий TiN (рис. 5, а, б) и TiC + Ti(C-N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рис. 5, в).

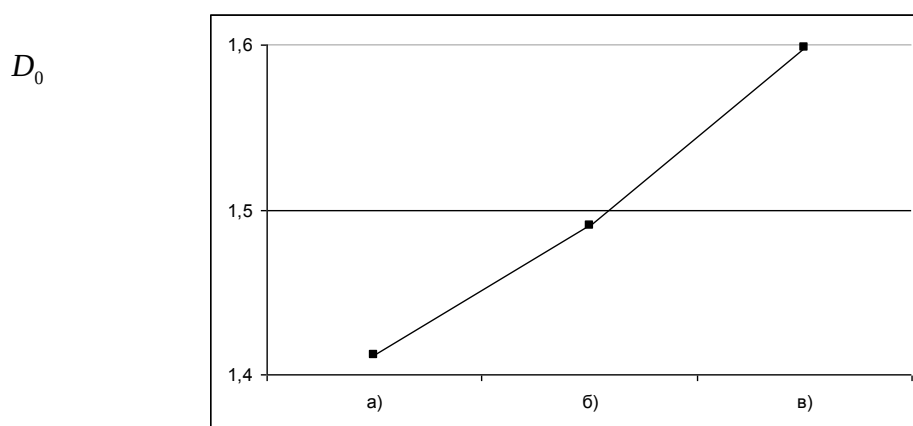
На рис. 6 показаны микрофотографии поверхностной структуры покрытий, совмещенные с кривыми, огибающими максимумы модуля вейвлет-спектра.



**Рис. 6 Электронные микрофотографии поверхностной структуры покрытий, совмещенные с кривыми, огибающими максимумы модуля вейвлет-спектра:**  
а, б - TiN (x5000); в - TiC+Ti(C-N)+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (x5000)

Линии максимумов модуля вейвлет-спектра как бы рассекают поверхностную структуру в разных плоскостях и позволяют рассматривать структуру материала в объемном виде, что существенно увеличивает количество информации при изучении структуры материала.

На рис. 7 показана зависимость фрактальной размерности кривых, огибающих максимумы модуля вейвлет-спектра, от номера рисунка (рис. 5, а, в). Исследование фрактальной размерности кривых, огибающих максимумы модуля вейвлет спектра, позволяют предсказать свойства материала и сократить время на их исследования. Это позволит повысить производительность и эффективность научных исследований.



**Рис. 7. Диаграмма фрактальной размерности кривых, огибающих максимы модуля вейвлет-спектра, от номера рисунка (рис. 5 а, в)**

Исследование фрактальной размерности структур в зависимости от режимов их получения позволяет предсказать будущие свойства материалов и выявлять режимы обработки, когда свойства материалов наиболее оптимальны.

#### Библиографический список

1. **Кабалдин, Ю. Г.** Синергетика. Информационные модели самосборки наносистем и наноструктурирования материалов при внешнем механическом воздействии / Ю. Г. Кабалдин. – Комсомольск-на-Амуре, КнАГТУ. 2007. – 185 с.
2. **Конева, Н.А.** Накопление дефектов, запасенная упругая энергия и самоорганизация субструктуры / Н.А. Конева [и др.] // Физические аспекты прогнозирования разрушения и деформирования гетерогенных материалов: сб. Ленинград. 1987. С. 20–35.
3. **Конева, Н.А.** Дислокационные субструктуры и их трансформация при усталостном нагружении (обзор) / Н.А. Конева [и др.] // Известия вузов. Физика. 2002. № 3. С. 87–98.
4. **Иванова В.С.** Универсальность самоорганизации динамических структур живой и неживой природы // Синергетика. – М.: МГУ. 1999. № 2. С. 85–98.

Дата поступления  
в редакцию 01.02.2014

**Y.G. Kabaldin<sup>1</sup>, E.E. Vlasov<sup>1</sup>, A.A. Prosolovich<sup>2</sup>, A.S. Hvostikov<sup>2</sup>**

#### EVALUATION OF FRACTAL DIMENSION NANOSTRUCTURES

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>,  
Komsomolsk-on-Amur state technical universitet<sup>2</sup>

**Purpose:** To develop methodology for assessing the fractal dimension of a nanocrystalline state systems different functional properties

**Methodology:** For calculating the fractal dimension has been selected "cell" method. Calculation of fractal dimension is as follows: digital image borders covered with a grid of square cells. For each grid counted the number of squares in which points are boundaries.

**Findings:** Results of research: an assessment of the fractal dimension of various wear-resistant coatings of refractory compounds.

*Key words:* fractal dimension, wear-resistant coatings, the dislocation structures.

УДК 621.9

И.Н. Фролова<sup>1</sup>, Т.С. Люлина<sup>2</sup>, И. С. Ларионов<sup>3</sup>**ВЫБОР ГЛОБАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ  
ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ**ОАО ПКО «Теплообменник»<sup>1</sup>,  
ОАО Концерн ПВО «Алмаз-Антей»<sup>2</sup>,  
ООО «Флайт+Хоммель»<sup>3</sup>

Статья посвящена вопросам автоматизации процедуры выбора средств технологического оснащения. Дан краткий обзор проблем, стоящих перед разработчиками систем автоматизированного проектирования технологических процессов. Предложено решение проблемы автоматического выбора средств технологического оснащения. Рассмотрен универсальный подход к информационному описанию всех элементов технологической системы.

*Ключевые слова:* автоматизация, выбор средств технологического оснащения, информационное описание объекта сборки, глобальная система координат, алгоритм построения начала координат объекта

Технологическая система (ТС) отдельной технологической операции представляет собой систему, состоящую из взаимосвязанных и собранных в единое целое элементов: станка, приспособления, инструмента, заготовки.

В современных условиях изменения как станочного, так и инструментального парка предприятия происходят достаточно часто. Появляются станки, которых не существовало 10-15 лет назад. Они позволяют выполнять как токарные, так и фрезерно-сверлильные операции. Инструмент становится все более инвариантен по отношению к станкам.

Для обеспечения в САПР ТП выбора средств технологического оснащения (СТО) на технологической операции технолог должен:

- или использовать связи между элементами СТО, имеющиеся в БД САПР ТП;
- или знать (хранить в голове) в полном объеме СТО, имеющиеся на предприятии.

В обоих случаях неполнота информации о СТО приводит как к информационным, так и к материальным конфликтам, существенным финансовым затратам предприятия. На многих предприятиях имеются существенные проблемы с использованием и хранением СТО:

- создание отдельными технологами «личных» каталогов по использованию инструмента на конкретной модели станка;
- использование разными технологами для обработки однотипных деталей разных СТО на одном и том же станке или на разных станках, что увеличивает разнообразие применяемых СТО и ведет к увеличению площадей складов;
- при приобретении нового станка или нового СТО все «привязки» СТО к станку нужно делать заново: как в знаниях технологов и рабочих, так и в базах данных САПР, что увеличивает время внедрения нового оборудования;
- накопление режущего инструмента, приспособлений, а также их составных частей «в тумбочках» около станка, что приводит к дополнительным закупкам СТО и неэффективным финансовым затратам предприятия;
- на предприятиях время от времени проводятся рейды по ликвидации неучтенных «пристаночных» складов СТО и возвращению инструментов на склады, ликвидация «тумбочек», вызывая дополнительные финансовые затраты. Несмотря на проведение рейдов, «тумбочки» возникают снова и снова, доказывая, что этот процесс имеет объективную причину;
- некоторые производители станков и предприятия вместо ликвидации пристаночных

складов СТО принимают решения о специальном создании таких пристаночных складов, уменьшая площади под централизованные склады.

В базы данных САПР ТП при описании отдельного элемента СТО (станка, приспособления, инструмента) заносится информация, состоящая из наименования, обозначения и ряда параметров. Обычно наложение связей между элементами СТО в информационной базе САПР ТП целенаправленно осуществляется технологом или администратором базы.

Для автоматизации выбора СТО в информационной базе различных САПР ТП существует функционал для установления одно- и двусторонних соответствий модели станка и конкретных инструментов или групп СТО. Этот функционал позволяет технологу или администратору БД однократно вручную или по определенным условиям установить связь (соответствие) между элементами СТО и в дальнейшем использовать это соответствие для ускорения выбора СТО. При этом связи показывают возможные применения элементов СТО, то есть какие инструменты и/или приспособления можно применять при выборе конкретного станка и наоборот.

Эти связи неконкретные, они общие. Общие связи позволяют сократить количество вариантов (уменьшить множество переборов) систем «станок-приспособление» и/или «станок-инструмент» при выборе СТО в САПР ТП. Однако если на предприятии одновременно существенно изменяется станочный парк или происходит изменение поставщика инструмента, такая процедура установления соответствий становится весьма сложной и продолжительной.

Поэтому становится актуальной задача использования информационного описания инструмента и модели станка для автоматического установления соответствия между элементами СТО в БД САПР ТП. Отсутствие единой системы формализованного описания СТО в САПР ТП приводит к тому, что информация, обеспечивающая автоматическое наложение связей при сборке ТС из отдельных элементов СТО, в базу данных САПР ТП заносится частично и нецеленаправленно, случайно.

Один из элементов ТС – заготовка – имеет переменную структуру (количество поверхностей, их размеры, расположение друг относительно друга) в производственном цикле. Структура отдельных элементов СТО (отдельного станка, приспособления, инструмента) постоянна. От структуры заготовки зависит состав средств технологического оснащения (СТО): станок, приспособление, инструмент. При изменении структуры заготовки (для обработки другой детали) состав СТО также меняется. Если бы структура заготовки не менялась, то и состав СТО был бы постоянный. Такие ТС существуют в виде автоматических линий.

Конкретная связь, то есть непосредственно привязка СТО к технологической операции, на данный момент в информационном виде в САПР ТП осуществляется технологом вручную.

Связи между элементами в материальном виде накладываются в процессе сборки ТС перед осуществлением технологической операции. Это связи ориентирующие, сопрягающие, закрепляющие. Конкретные связи существуют только на данной технологической операции. По ее окончании происходит разборка технологической системы. Все элементы ТС становятся независимыми, связи разрушаются. На другой технологической операции эти же элементы образуют другую ТС.

Точно так же при использовании УСПО отдельные элементы собираются, образуя приспособление на отдельную технологическую операцию. В процессе сборки между элементами УСПО накладываются ориентирующие, сопрягающие, закрепляющие связи. По окончании использования приспособление УСПО разбирается. Элементы УСПО становятся независимыми. На другой технологической операции эти же элементы образуют другое приспособление.

Для полноты информационного описания элементов технологической системы, необходимо рассмотреть структуру каждого элемента СТО в отдельности. Анализ элементов структуры позволяет выявить метод общего их описания.

Для описания алгоритма построения начала координат ГСК на объекте введем некоторые понятия.



*Глобальная система координат (ГСК)* – пространственная прямоугольная декартова система координат, образованная правой тройкой векторов – определяет положение объекта в глобальном пространстве.

*Исполнительные поверхности объекта* – поверхности, отвечающие за исполнение определенной функции (кроме основной конструкторской базы).

*Главные исполнительные поверхности объекта* – поверхности, отвечающие за исполнение главного функционального назначения объекта.

*Собственная система координат (ССК)* – пространственная прямоугольная декартова система координат, образованная правой тройкой векторов – определяет положение поверхностей средств технологического оснащения в глобальной системе.

*Первичным ориентированием* объекта сборки в материальном виде называется приведение объекта от произвольного положения в начале в первое устойчивое положение на определяющих поверхностях.

При информационном описании объекта сборки под определяющими поверхностями будем понимать основные базовые поверхности, под первичным ориентированием – приведение объекта сборки в глобальную систему координат (ГСК).

*Вторичным ориентированием* объекта сборки в материальном виде называется последовательный перевод объекта сборки от одного устойчивого положения на определяющих поверхностях к другому до тех пор, пока объект не будет приведен в какое-то одно, заранее заданное положение.

При информационном описании объекта сборки под вторичным ориентированием будем понимать определение операторов перемещения и поворота объекта сборки из ГСК в сборочное положение.

Основные направления описания конструкций, разрабатываемых для автоматизации сборки средств технологического оснащения, состоят в следующем.

- конструкция каждого объекта сборки (станка, приспособления, инструмента, заготовки) должна быть расчленена на отдельные функциональные блоки (узлы), такие как ориентирующие, сопрягающие, направляющие:
  - разделение конструкции объекта сборки на КЭ. В основу анализа функций ТО и построения КФС положен принцип выделения и рассмотрения структур с двухуровневой иерархией, т. е. любой ТО можно разделить на несколько элементов, каждый из которых имеет вполне определенную функцию (или функции) по обеспечению работы ТО или его элементов. При этом рассматриваемый ТО представляет собой верхний уровень, а выделенные функциональные элементы – нижний. Любой ТО (кроме неделимых элементов) может быть разделен на несколько укрупненных функциональных элементов, каждый из которых должен иметь минимальное число (не менее одной) определенных функций. Предельное детальное разделение ТО возможно до неделимых (в функциональном смысле) элементов;
  - выявление функций КЭ объектов сборки. Может быть представлено конструктивной функциональной структурой СТО. Построение конструктивной функциональной структуры (КФС) основывается на законе соответствия между функцией и структурой ТО. Конструктивная структура представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются наименования элементов ТО и объектов ОС, а ребрами — конструктивные связи элементов. При построении конструктивной структуры сначала изображают вершины. В вершинах, представляющих собой овалы или прямоугольники, указывают обозначения и наименования объектов ОС и элементов. После этого строят направленные ребра графа. Ребра выходят из вершин-элементов, которые необходимо зафиксировать, и заканчиваются в вершинах-элементах, на которых они закреплены или которые являются для них несущими. Из каждой вершины-элемента выходит столько ребер, сколько конструктивных связей имеет элемент;

- построение базовой СК на базовых поверхностях объекта сборки;
- первичное ориентирование объекта сборки в ГСК. При описании СТО, применяемых на технологической операции, нужно выбрать такую систему отсчета, по отношению к которой все объекты одной сборки будут ориентированы одинаково и однозначно. Такая система называется глобальной;
- вторичное ориентирование объекта сборки в положение сборки. Все перемещения материального объекта для осуществления сборки определяются относительно другого тела, обычно называемого телом отсчета. Рассмотрим простейшую систему координат, состоящую из двух тел. Первое тело определяет систему отсчета – это человек – инженер – рабочий. Операторы перемещения и поворота второго тела (инструмент, приспособление, заготовка) для осуществления сборки определяется в этой системе координат.

### Глобальная система координат

Глобальную систему координат (ГСК) будем связывать с описываемым объектом. Для осуществления первичного ориентирования любого объекта будем помещать его в глобальную систему координат, при этом помещение объекта в ГСК будет определять ее начало координат.

Для начала будем осуществлять построение базовой системы координат на основных базовых поверхностях объекта сборки.

ГСК определяется относительно начала отсчета - человека-наблюдателя. Расстояния от начала отсчета до начала координат ГСК (по всем осям ГСК) принимаются равными 1.

ГСК всегда – правая декартова система координат. Основные плоскости ГСК взаимно перпендикулярны, положительные полуплоскости лежат в теле объекта:

- горизонтальная плоскость ГСК –  $XY$  – совпадает с плоскостью "пола", где стоит наблюдатель;
- фронтальная плоскость ГСК –  $YZ$  – расположена перед наблюдателем и перпендикулярна линии взгляда;
- профильная плоскость ГСК –  $ZX$  – расположена перпендикулярно фронтальной и горизонтальной плоскостям.

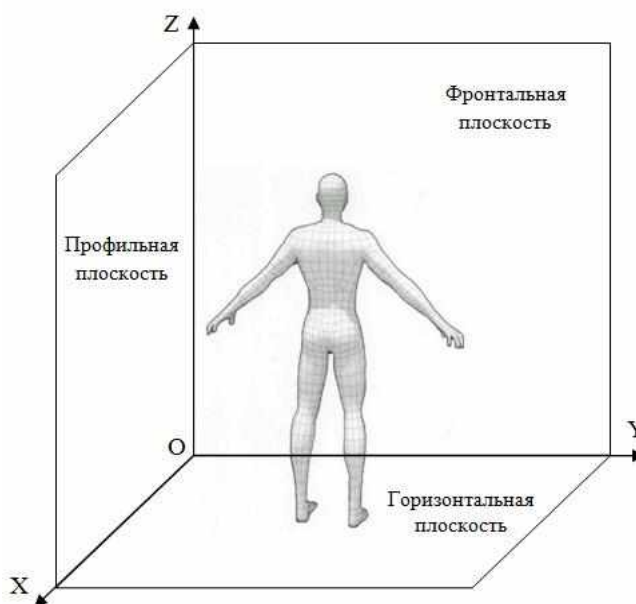


Рис. 1. Глобальная система координат с наблюдателем

Направления осей ГСК (рис. 1):

- ось  $X$  направлена против взгляда наблюдателя на исполнительные поверхности объекта, расположена в горизонтальной плоскости ГСК и является общей прямой для профильной и горизонтальной плоскостей;
- ось  $Y$  направлена вдоль правой руки наблюдателя в тело объекта, является общей прямой для горизонтальной и фронтальной плоскостей ГСК;
- ось  $Z$  направлена вертикально вверх против действия силы тяжести, перпендикулярно горизонтальной плоскости ГСК  $XY$ , является общей прямой для фронтальной и профильной плоскостей.

Оси  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  взаимно перпендикулярны и пересекаются в начале координат ГСК.

Для полного определения ГСК в пространстве необходимо определить положение начала координат – точку  $O$ .

### **Алгоритм построения начала координат объекта**

Конструкция рассматриваемого объекта (станок, приспособление, инструмент, деталь) должна быть расчленена на отдельные функциональные блоки (узлы), такие как ориентирующие, сопрягающие, направляющие. У каждого объекта имеются те части, которые отвечают за установку объекта и являются его основными конструкторскими базами (для инструмента и технологической оснастки – установка на станок, а для станка – установка на плоскость пола). Для помещения любого объекта в ГСК и определения ее начала координат, заключаем базовые части объекта по выступающим точкам в базовый параллелепипед или в базовый цилиндр.

### **Построение ГСК на базовом параллелепипеде**

1. Параллелепипед помещается в пространство ГСК таким образом, чтобы главные исполнительные поверхности объекта, (в параллелепипед вписаны только базовые части, а не сам объект), расположились «лицом» к лицу наблюдателя и вверх, при этом одна из граней параллелепипеда должна совпасть с горизонтальной плоскостью ( $XY$ ).

2. У параллелепипеда определились передняя, задняя, боковые (правая и левая), верхняя и нижняя грани.

3. Точка пересечения задней, боковой левой и нижней граней – точка  $O_1$ .

4. Совмещаем точку  $O_1$  с точкой  $O$  ГСК, при этом необходимо учесть, что оси ГСК направлены в тело параллелепипеда, а профильная ( $XZ$ ) и фронтальная ( $ZY$ ) плоскости ГСК совпадают с боковой левой и задней гранями параллелепипеда соответственно.

5. Начало координат ГСК определено.

### **Построение ГСК на базовом цилиндре**

1. Цилиндр помещается в пространство ГСК таким образом, чтобы главные исполнительные поверхности объекта, расположились «лицом» к лицу наблюдателя и вверх, при этом нижняя грань цилиндра должна совпасть с горизонтальной плоскостью ( $XY$ ).

2. У цилиндра определились верхняя и нижняя грани.

3. Точка пересечения оси симметрии цилиндра и нижней грани – точка  $O_1$ .

4. Совмещаем точку  $O_1$  с точкой  $O$  ГСК, при этом необходимо учесть, что оси ГСК направлены в тело цилиндра, а линия пересечения профильной ( $XZ$ ) и фронтальной ( $ZY$ ) плоскостей ГСК совпадает с осью симметрии цилиндра.

5. Начало координат ГСК определено.

I.N. Frolova<sup>1</sup>, T.S. Lyulina<sup>2</sup>, J.S. Larionov<sup>3</sup>

## CHOICE FOR GLOBAL COORDINATE SYSTEMS ELEMENTS TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Teploobmennik JSC PDC Nizhny Novgorod<sup>1</sup>,  
Joint- stock Company Almaz-Antey<sup>2</sup>,  
Flaig + Hommel Gruppe<sup>3</sup>

**Purpose:** Identify the main ideas of the method automate the design process of mechanical treatment on the basis of the formation of the basic structures, describe the sequence of actions, features and difficulties arising in this case. Learn the basic structure and features of the data format STEP.

**Methodology:** Comparison and identification features, advantages and disadvantages of existing technologies to automate the creation of technical processes. Studying the structure of the data format STEP by successive complications 3Dmodels and reveal patterns of change in the structure of the file format STEP.

**Findings:** The basic idea of the method of design automation of technological processes of mechanical treatment on the basis of the formation of the basic structures are described especially the sequence of actions and difficulties arising in this case. The features of the popular STEP data format and the differences in the structure of the format created by different development environments.

*Key words:* design automation, process, mechanical processing, synthesis method, EXPRESS / STEP technology format STEP.

## ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

---

УДК 621.039.534

А.В. Безносков, Т.А. Бокова, К.А. Махов, А.И. Шумилков, А.С. Черныш

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИСТЕННОГО СЛОЯ: СТЕНКА КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА – СВИНЦОВЫЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Предмет, тема, цель работы:** В статье приведены результаты экспериментальных исследований пристенного слоя свинцового теплоносителя методом экспресс замораживания.

**Метод или методологию проведения работы;** Исследования проводились на высокотемпературном стенде методом экспресс-замораживания свинцового теплоносителя с изменением температуры потока свинца с 470 до 320<sup>0</sup>С за 2 с при содержании в нем термодинамически активного кислорода 10<sup>-3</sup> и экспериментов с изменением температуры потока свинца с 550 до 320<sup>0</sup>С с тем же темпом охлаждения при содержании в нем термодинамически активного кислорода 10<sup>-1</sup>-10<sup>0</sup> и наличии твердой фазы оксидов свинца.

**Результаты и область их применения;** Впервые экспериментально определены триботехнические характеристики пристенного слоя потока свинцового теплоносителя. Зафиксировано наличие в пристенном слое образования частиц примесей, вероятно, пропитанных теплоносителем и представляющих дисперсную систему с соответствующими свойствами. Подтверждено наличие несмачивания в зоне контакта жидкого и твердого металлов. Определены шероховатости поверхности стенки из стали 08X18H10T при внеконтурной пассивации и контурной пассивации, а также в процессе эксплуатации в контакте с потоком свинцового теплоносителя. Результаты проведенных исследований важны для реакторных контуров энергоблоков АЭС с установками БРЕСТ и СВБР со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями.

*Ключевые слова:* свинцовый теплоноситель, пристенный слой, оксидные покрытия, метод экспресс замораживания, нерастворенные примеси, отложения примесей, микротвердость, шероховатость

### Введение

Традиционные методы исследования состояния поверхностей конструкционных материалов после испытаний в потоке свинцового теплоносителя предусматривают дренирование теплоносителя из полостей циркуляционного контура с размещенными в нем образцами или извлечение образцов из объема теплоносителя. После этого проводится удаление с поверхностей контакта твердого и жидкого металлов, шлаков и теплоносителя (если они оставались на поверхности контакта) и изготовление образцов (шлифов и др.) для проведения соответствующих исследований. Традиционные методы позволяют получить полную и представительную информацию о наличии или отсутствии коррозионных, эрозионных и других повреждений поверхностей. Они позволяют получить представительную информацию о характеристиках оксидных покрытий на поверхностях образцов, обладающих защитными (пассивирующими), антифрикционными и электроизолирующими свойствами.

Недостатком таких методов является невозможность получения объективной информации о состояниях пристенного слоя в потоке свинцового теплоносителя при различных его режимах течения и содержаниях в нем примесей. Состояние пристенного, приграничного слоя стали, несмачиваемого высокотемпературным (450-550<sup>0</sup>С) свинцовым теплоносителем, определяет процессы коррозии, эрозии, формирования и разрушения защитных покрытий

[1], гидродинамические и теплофизические характеристики потока [2] в этой области, что подтверждается расчетно-теоретическими и экспериментальными исследованиями.

В Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева проводятся исследования пристенной области: конструкционный материал – свинцовый теплоноситель – методом экспресс-замораживания, что позволяет расширить информацию о процессах, происходящих в этой области.

### Методы проведения исследований

Сущность проведения эксперимента заключалась в следующем. Организуется циркуляция высокотемпературного свинцового теплоносителя через U-образную трубу  $\varnothing 14$  мм с толщиной стенки 2 мм, выполненной из стали 08 X18H10T с установленными на ее поверхности и в потоке свинцового теплоносителя термопарами. Трубка имеет съемную секцию электрообогрева и теплоизоляцию, которые демонтируются в момент, предшествующий замораживанию (рис. 1).

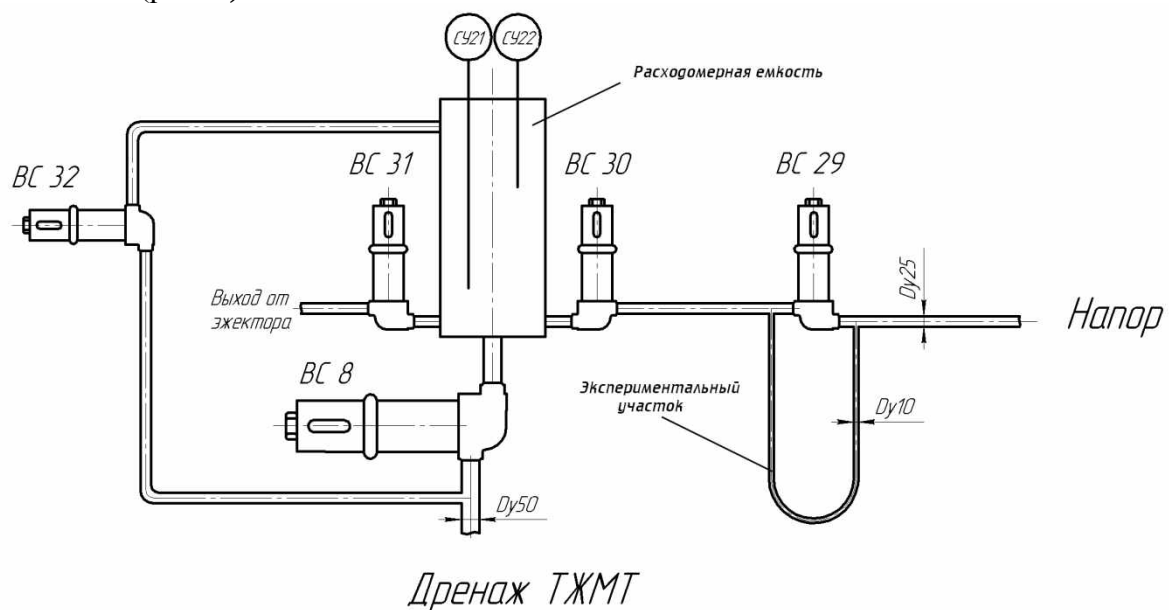


Рис. 1. Схема экспериментального участка

Емкость с водой и льдом подводится снизу к U-образной трубке с погружением этой трубки под уровень смеси воды и льда, при этом фиксируется скорость изменения температуры свинца в трубке. После этого теплоноситель дренируется из циркуляционного контура и вырезаются участки U-образной трубки с застывшим в ней свинцом, а также участки трубопровода контура со сдренированным теплоносителем.

Проводилось определение шероховатости следующих поверхностей:

- стального образца, после извлечения из нее слитка свинца;
- стального образца из участка контура со сдренированным теплоносителем, через который осуществлялась циркуляция свинца;
- стального образца, запассивированной на воздухе при тех же температурах, при которых находилась U-образная трубка;
- стального образца из трубки в состоянии поставки;
- поверхности свинцового слитка, извлеченного из U-образной трубки.

Определялась микротвердость свинца в ядре «замороженного» потока, микротвердость в образованиях примесей в пристенной области и в стали.

Параметры серий экспериментов:

- продолжительность циркуляции свинцового теплоносителя через U-образную трубку: 50, 75, 100 ч соответственно;

- расход свинцового теплоносителя через U-образную трубку: 0,27 м<sup>3</sup>/ч; 0,27 м<sup>3</sup>/ч; 0,55 м<sup>3</sup>/ч соответственно;
- среднерасходная скорость потока свинца: 1 м/с; 1 м/с; 2 м/с соответственно;
- температура свинцового теплоносителя: 470<sup>0</sup>С; 470<sup>0</sup>С; 550<sup>0</sup>С соответственно;
- термодинамическая активность кислорода в расплаве свинца: 10<sup>-3</sup>; 10<sup>-3</sup>; 10<sup>-1</sup>-10<sup>-0</sup>

Во всех случаях U-образные трубки изготавливались из стали 08Х18Н10Т Ø14х2 мм в состоянии поставки. Первые две серии экспериментов проводились на стенде ФТ-3 НГТУ при термодинамической активности кислорода 10<sup>-3</sup>. Время эксплуатации стенда ФТ-3 до врезки U-образной трубки составляло 1000-1500 ч. Третья серия экспериментов проводилась на стенде 2009-302ФТ-НКНГТУ при термодинамической активности кислорода в свинце 10<sup>-1</sup>-10<sup>-0</sup> при гарантированном наличии твердой фазы оксидов свинца в потоке теплоносителя в циркуляционном контуре. Время эксплуатации стенда 2009-302ФТ-НКНГТУ более 1000 часов.

### Обсуждение результатов

График изменения температуры свинца в экспериментальном участке (рис. 2) показывает, что через время около 2 с после начала процесса охлаждения экспериментального участка свинец гарантированно переходил в твердое, замороженное состояние, в котором, по мнению авторов, в значительной мере сохраняется структура пристенной области, учитывая малую температуру фазового перехода при застывании свинца.

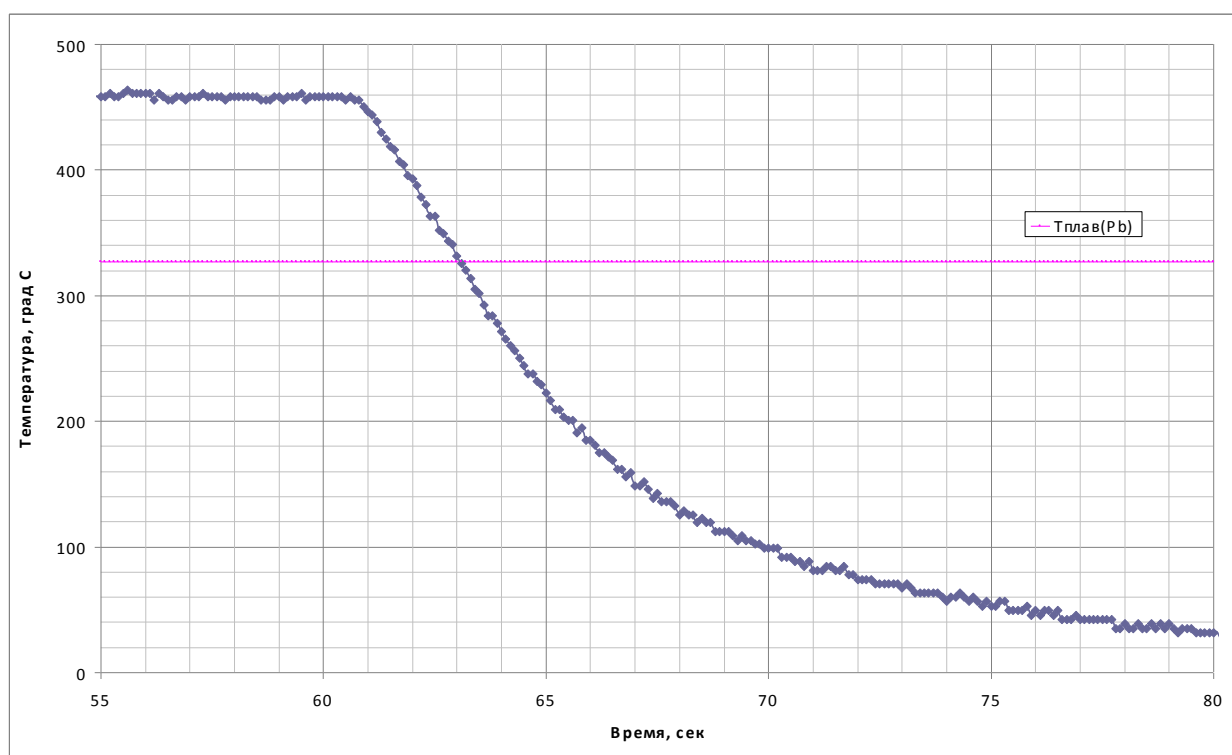
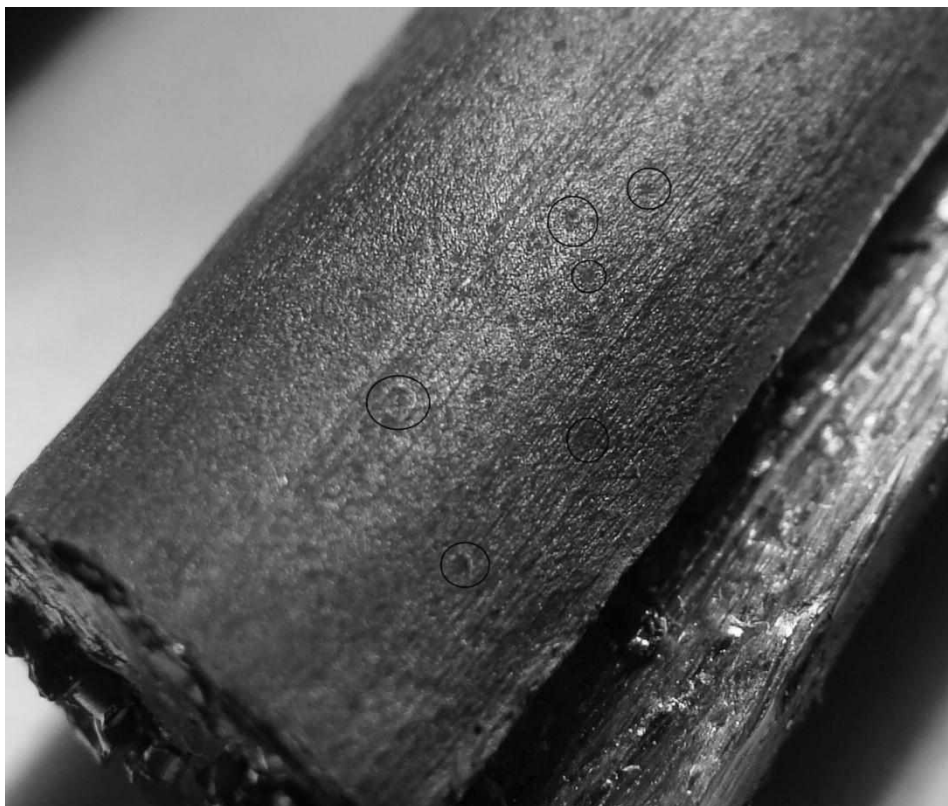


Рис. 2. График скорости охлаждения экспериментального участка

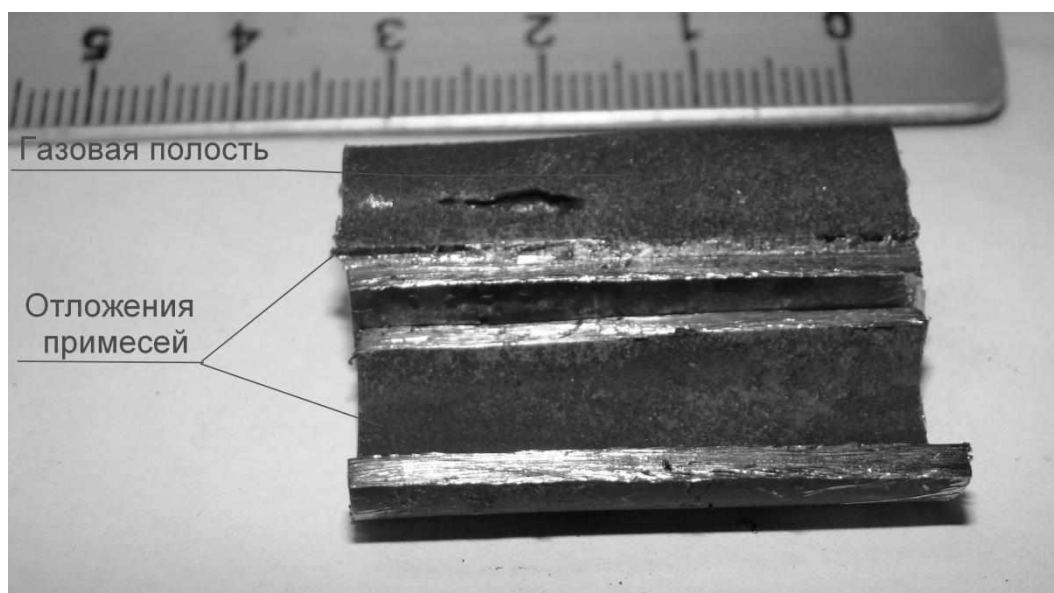
После вырезки и продольной разрезки образцов из U-образной трубки слитки свинца легко извлекались из стальных оболочек, что свидетельствует о несмачивании стальных стенок свинцом.

На внешних, контактировавших со стенкой поверхностях свинцовых слитков во всех сериях экспериментов зафиксированы газовые (газопаровые) пузыри с линейными размерами до 1 мм (рис. 3) и в редких случаях — до 1 см (рис. 4). Отпечатки пузырей имели статически разный характер: от отпечатков с шириной и глубиной одного порядка (около 1 мм), напоминающих «кратеры» до отпечатков с глубиной существенно меньше диаметального

размера, похожих на «вмятины». Этот факт может объясняться разбросом в размерах пузырей, разницей их положения относительно поверхности свинцового слитка, составом газовой (газопаровой) смеси или др.



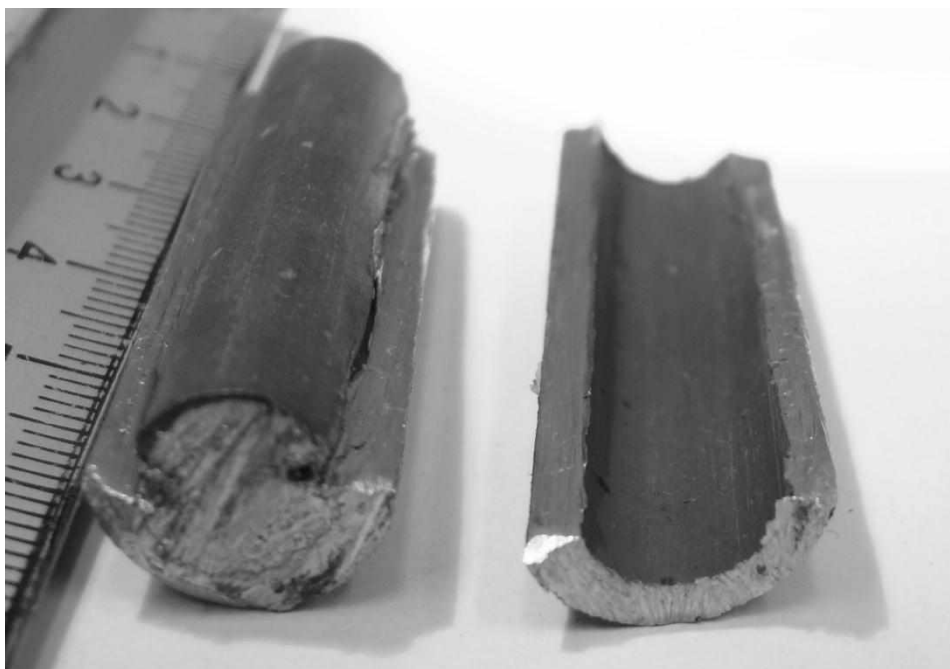
**Рис. 3. Газовые (газопаровые) «вмятины» на поверхности свинца**



**Рис. 4. Газовые (газопаровые) «кратеры» в свинце**

При отделении слитка свинца от трубы зафиксированы слои примесей черного и темно-красного цветов, находящиеся на поверхности стенки трубы и поверхности слитка свинца и сцепленные с ними (рис. 5). На поверхности свинца обнаружены участки без визуально фиксируемых покрытий примесями, «чистые».

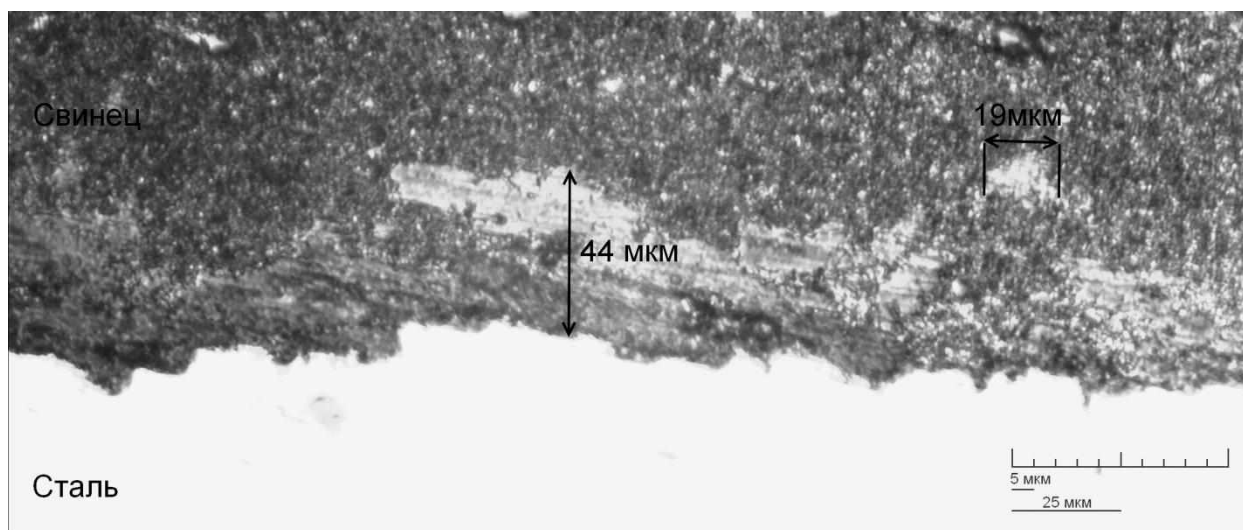




**Рис. 5. Внешний вид поверхности трубки и слитка свинца после отделения**

Наличие примесей на поверхностях контакта свинца со стенкой свидетельствует о наличии граничной внешней поверхности свинца с поверхностными свойствами, на которой или вблизи которой концентрируются примеси, поступающие из ядра потока теплоносителя и удерживаемые в пристенной области при установившемся режиме течения. Эксперименты показали, что пристенная область обогащена нерастворимыми примесями, содержащими кислород и являющимися источниками подпитки кислородом оксидных покрытий на стальных поверхностях.

Результаты анализа шлифов продольных разрезов слитков свинца (рис. 6 и рис. 7) показывали следующее: при испытаниях на циркуляции свинца в течение 50 и 75 ч при  $T=470^{\circ}\text{C}$ ,  $a=10^{-3}$  отсутствует визуально фиксируемое оксидное покрытие на стальной поверхности; отложения примесей вблизи границы раздела фаз «теплоноситель – конструкционный материал» имеют неравномерный характер (до 50-60 мкм); фиксируются частицы примесей, отстоящие от стенки трубки на расстоянии до 100 мкм.



**Рис. 6. Отложения примесей, в пристенной области**  
( $Q=0,27 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $T=470^{\circ}\text{C}$ ,  $a=10^{-3}$ ,  $t=50 \text{ ч}$ ), 400-кратное увеличение

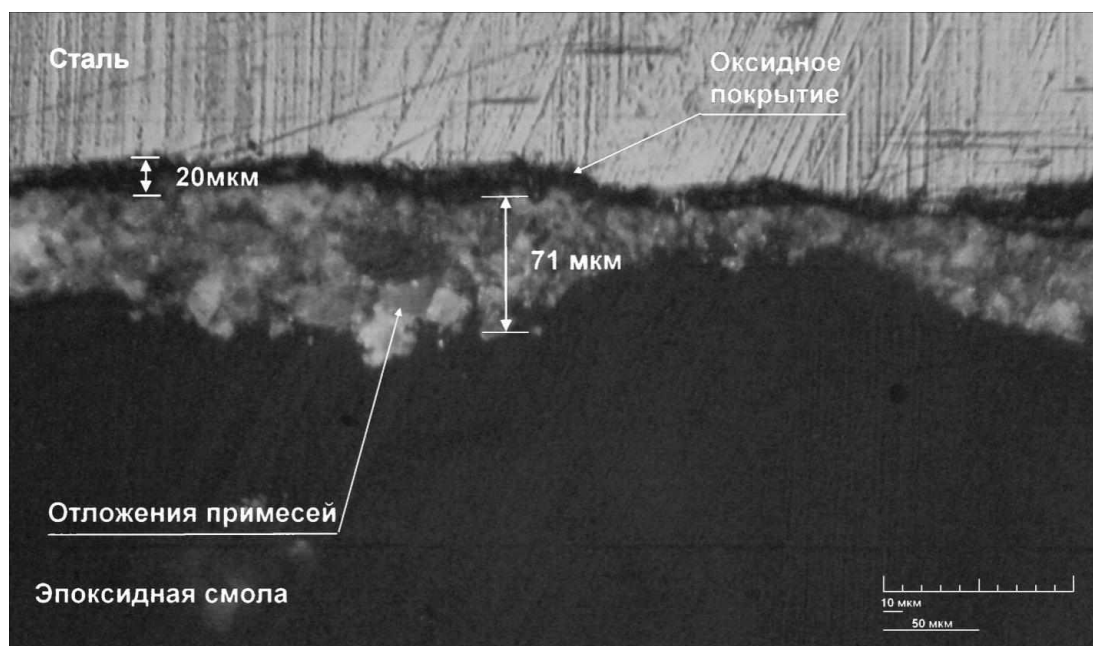


Рис. 7. Отложения примесей, сцепленные с конструкционным материалом ( $Q = 0,55 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $T = 550^\circ\text{C}$ ,  $a = 10^0$ ,  $t = 100 \text{ ч}$ ), 200-кратное увеличение

Измерение микротвердости структур, составляющих пристенную область по методу Виккерса (рис. 8) показало, что микротвердость пристенной области (от 500 до 900 МПа) на порядок ниже микротвердости стали (2400 МПа) и на порядок выше микротвердости застывшего свинца (50 МПа).

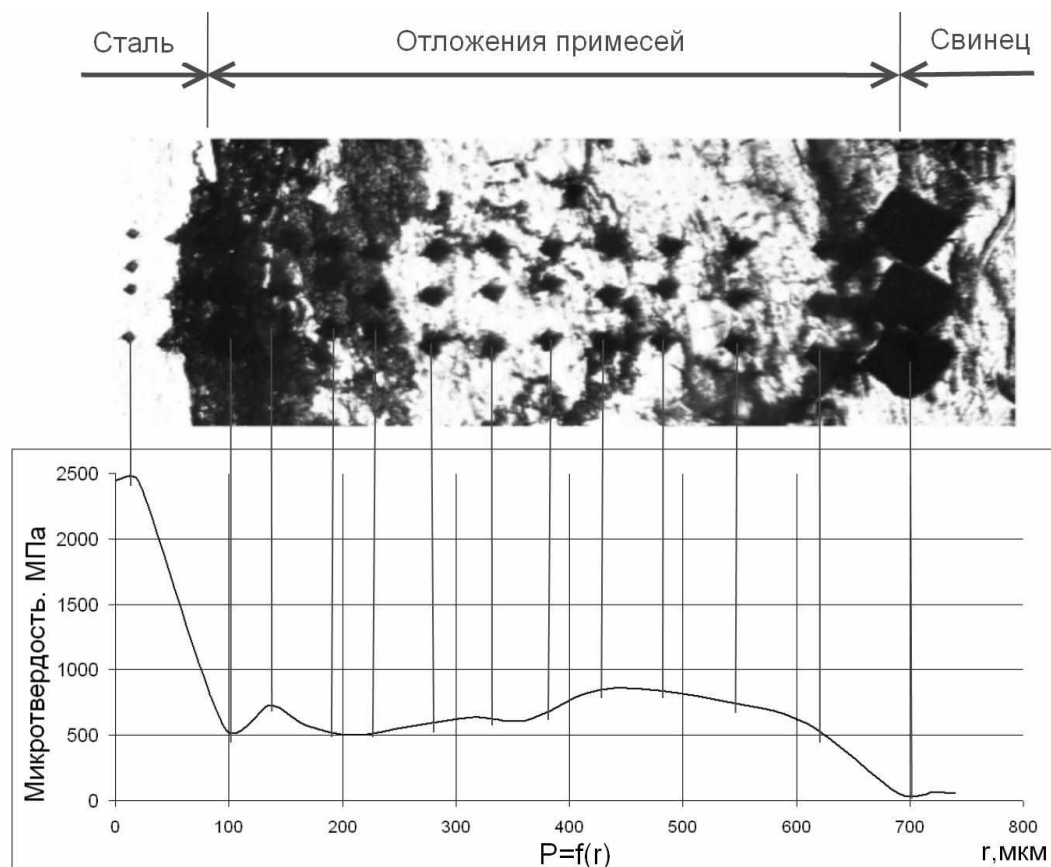


Рис. 8. Результаты измерения микротвердости структур пристенной области (нагрузка  $P = 20 \text{ г} = 0,0196 \text{ кгс}$ , время выдержки  $t = 15 \text{ с}$ )

Можно сделать вывод о том, что фракция примесей в пристенной области, находящаяся ближе к оксидному покрытию, имеет меньшую (в среднем на 150 МПа) микротвердость, чем образования примесей, прилегающих к свинцовому теплоносителю и пропитанным им. Это может свидетельствовать о разной степени рыхлости этих слоев, что совпадает с данными других исследователей [1].

Шероховатость поверхностей стальной трубки в состоянии поставки, оксидированной на воздухе, находившейся в потоке свинца после его дренирования в контакте со стальным слитком и шероховатость поверхности извлеченного из трубки свинцового слитка, существенно различны (рис. 9 и рис. 10).

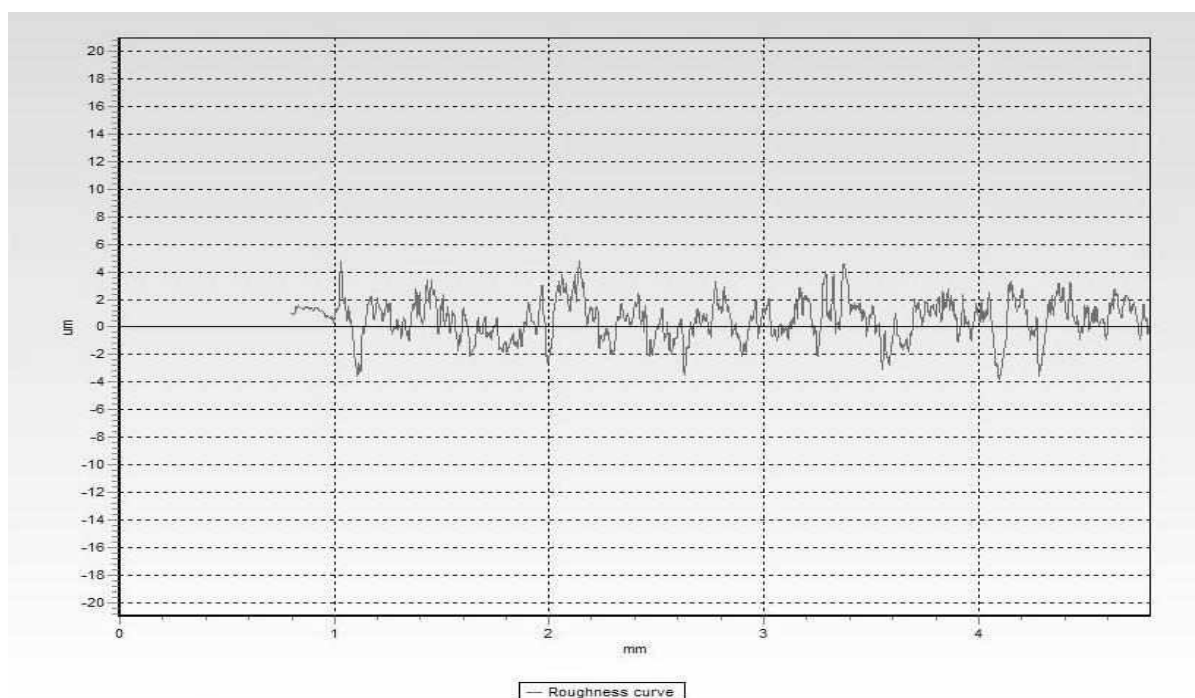


Рис. 9. Шероховатости поверхности трубки до эксперимента

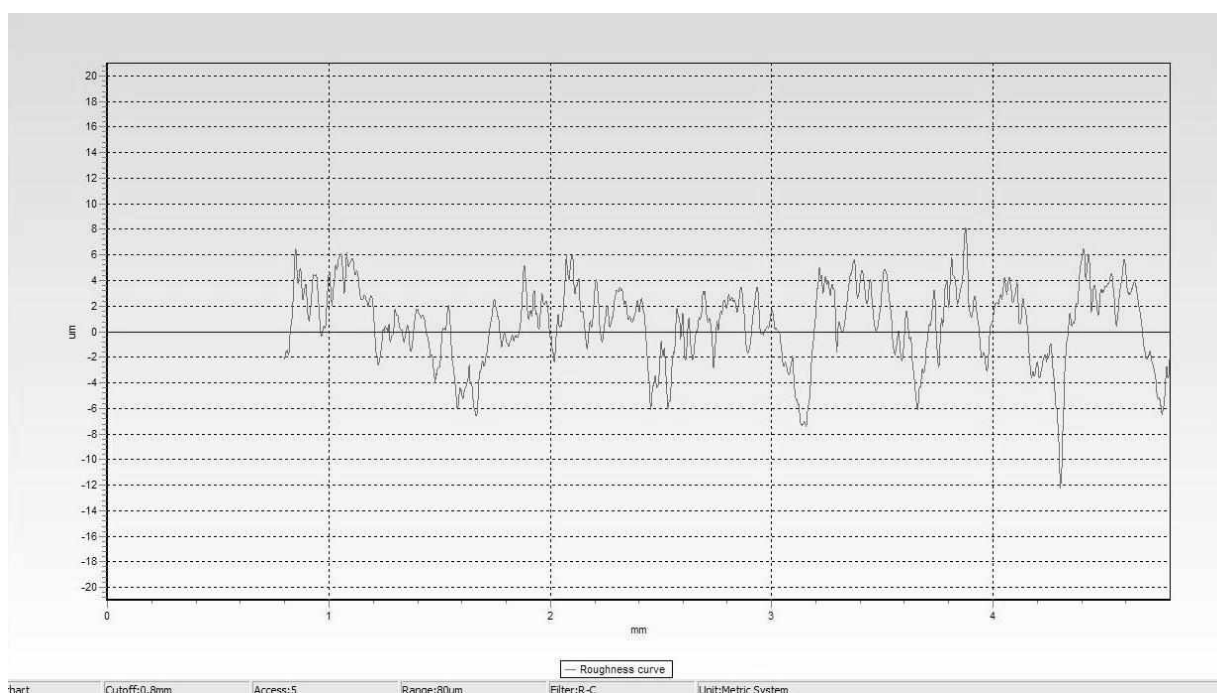


Рис. 10. Шероховатость поверхности трубки после эксперимента  
( $T=470^{\circ}\text{C}$ , 50 часов,  $a=10^{-3}$ ,  $Q=0,27\text{м}^3/\text{ч}$ )

Сводные данные по результатам измерения шероховатости поверхностей по результатам трех серий экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Сравнение результатов измерения шероховатости образцов  
по результатам трех серий экспериментов**

1. Поверхность трубки до эксперимента

|             | 50 ч, 75 ч 470 <sup>0</sup> C, $a=10^{-3}$ | 100 ч, 550 <sup>0</sup> C, $a=10^0$ |
|-------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|
| Ra(ср), мкм | 1,079                                      | 0,8758                              |
| Rz(ср), мкм | 6,9383                                     | 4,9485                              |

2. Поверхность трубки, выдержанной на воздухе при  $T=550^0\text{C}$ ,  $t=100$  ч

|             | 100 ч 550 <sup>0</sup> C, воздух |
|-------------|----------------------------------|
| Ra(ср), мкм | 0,9304                           |
| Rz(ср), мкм | 4,9311                           |

3. Поверхность трубки после отделения

|             | 50 ч, 470 <sup>0</sup> C, $a=10^{-3}$ ,<br>$Q = 0,27 \text{ м}^3/\text{ч}$ | 75 ч, 470 <sup>0</sup> C, $a=10^{-3}$ ,<br>$Q = 0,27 \text{ м}^3/\text{ч}$ | 100 ч, 550 <sup>0</sup> C, $a=10^0$ ,<br>$Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ra(ср), мкм | 2,139333                                                                   | 2,54225                                                                    | 2,7638                                                                  |
| Rz(ср), мкм | 12,39                                                                      | 14,17                                                                      | 12,6167                                                                 |

4. Поверхность свинца после отделения

|             | 50 ч, 470 <sup>0</sup> C, $a=10^{-3}$ ,<br>$Q = 0,27 \text{ м}^3/\text{ч}$ | 75 ч, 470 <sup>0</sup> C, $a=10^{-3}$ ,<br>$Q = 0,27 \text{ м}^3/\text{ч}$ | 100 ч, 550 <sup>0</sup> C, $a=10^0$ ,<br>$Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ra(ср), мкм | 2,369667                                                                   | 2,313                                                                      | 2,7539                                                                  |
| Rz(ср), мкм | 12,24667                                                                   | 11,77                                                                      | 13,4477                                                                 |

5. Поверхность трубки после дренирования

|             | 50 ч, 470 <sup>0</sup> C, $a=10^{-3}$ ,<br>$Q = 0,27 \text{ м}^3/\text{ч}$ | 75 ч, 470 <sup>0</sup> C, $a=10^{-3}$ ,<br>$Q = 0,27 \text{ м}^3/\text{ч}$ | 100 ч, 550 <sup>0</sup> C, $a=10^0$ ,<br>$Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ra(ср), мкм | 2,1692                                                                     | 2,1528                                                                     | 4,7166                                                                  |
| Rz(ср), мкм | 11,1086                                                                    | 12,294                                                                     | 20,4900                                                                 |

В процессе эксплуатации контура со свинцовым теплоносителем возможно существенное увеличение шероховатости стенок циркуляционного контура, вследствие отложений примесей, что может приводить к увеличению гидравлического сопротивления циркуляционного контура.

### Выводы

Результаты экспериментов показали следующее:

1. В пристенной зоне поток свинцового теплоносителя через 100 ч циркуляции при средней скорости потока 2 м/с, температуре 550<sup>0</sup>C, термодинамической активности кислорода  $10^{-1}$ - $10^{-0}$  фиксируется образование дисперсной фазы примесей неравномерной толщины до 500 мкм.

При циркуляции свинцового теплоносителя в течение 50 и 75 ч при средней скорости потока 1 м/с, температуре 470<sup>0</sup>C, термодинамической активности кислорода  $10^{-3}$  толщина отложений примесей на поверхности конструкционных материалов достигает нескольких десятков микрон

2. В пристенной зоне во всех случаях фиксируются «отпечатки» газовых пузырей с линейными размерами до 1 мм, в редких случаях – до 1 см.

3. Длительная циркуляция свинцового теплоносителя в каналах, независимо от их исходной шероховатости, приводит к увеличению шероховатости каналов вследствие образования на их поверхностях нерастворенных частиц примесей, что подтверждается соответствующими профилограммами и другими видами анализа. Увеличение шероховатости, в свою очередь, приводит к увеличению гидравлического сопротивления циркуляционного контура.

*Работа проводилась в рамках ФЦП «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годов и на перспективу до 2020 года», а также в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.*

#### Библиографический список

1. **Безносков, А.В.** Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике / А.В. Безносков, Ю.Г. Драгунов, В.И. Рачков. – М. : ИздАТ, 2007. – 434 с.
2. **Молодцов, А.В.** Характеристики теплообмена от свинцового теплоносителя в оборудовании ЯЭУ при эксплуатационном содержании в нем примесей: дисс. ... на соискание ученой степени канд. техн. наук / Молодцов А.В. – Н. Новгород, 2007.

*Дата поступления  
в редакцию 07.02.2014*

**A.V.Beznosov, T.A.Bokova, K.A.Mahov, A.I.Shumilkov, A.S.Chernysh**

#### EXPERIMENTAL STUDIES BOUNDARY LAYER: A WALL CONSTRUCTION MATERIAL - LEAD-COOLED FAST BREEDER REACTOR

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The article presents the results of experimental studies of the boundary layer by lead coolant Express freezing.

**Design/methodology/approach:** Studies were conducted on the high bench by express freezing lead coolant temperature changes lead to flow 470gradC to 320gradC for 2 seconds when the content in it is thermodynamically active oxygen  $10^{-3}$  and experiment with changes in temperature lead to flow 550 gradC to 320 gradC with the same rate of cooling at Content it  $10^{-1}$ - $10^0$  thermodynamically active oxygen in the presence of a solid phase of lead oxides.

**Findings:** First experimentally determined tribological characteristics of the boundary layer flow lead coolant . Reported the presence of a boundary layer particle formation of impurities , probably representing impregnated coolant and dispersed system with the corresponding properties . Confirmed the presence of non-wetting in the contact zone of liquid and solid metals. Defined surface roughness of the steel wall at 08Cr18Ni10Ti vnekonturnoy passivation contour and passivation , as well as during use in contact with the coolant flow lead .

**Research limitations/implications:** The results of these studies are important for reactor circuits NPPs with BREST and MTBF with lead and lead-bismuth coolant.

**Key words:** lead coolant boundary layer, oxide coating, the method of rapid freezing, insoluble impurities, deposition of impurities, microhardness, surface roughness.

УДК 621.039

С.М. Дмитриев, И.В. Каратушина, А.Н. Пронин, В.Д. Сорокин, А.Е. Хробостов

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯ СКОРОСТИ ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТВСА РЕАКТОРОВ ВВЭР И ВБЭР**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлены результаты и анализ экспериментальных данных по исследованию поля скорости потока теплоносителя за перемешивающей решеткой типа «порядная прогонка» для ТВСА реакторов ВВЭР–1000 и ВБЭР–300.

*Ключевые слова:* ядерный реактор, тепловыделяющая сборка, гидродинамика теплоносителя, перемешивающая решетка.

**Введение**

В ОАО «ОКБМ Африкантов» разработана ТВСА с улучшенными характеристиками для использования в активных зонах как действующих ВВЭР–1000, так и для разрабатываемой реакторной установки ВБЭР–300.

Для повышения критического теплового потока в конструкции ТВС применяют перемешивающие решетки (ПР) типа «порядная прогонка», интенсифицирующие процессы теплообмена как в пределах одной кассеты, так и между соседними сборками [1].

Для обоснования теплотехнической надежности активной зоны реакторов при постановке ТВСА с данным типом перемешивающих решеток необходимо определить влияние её конструкции на гидродинамику и массообмен потока теплоносителя [2].

Для решения данной задачи в научно–исследовательской лаборатории «Реакторная гидродинамика» НГТУ им. Р.Е. Алексеева был проведен комплекс экспериментальных исследований на аэродинамическом стенде.

**Экспериментальный стенд**

Экспериментальный стенд представляет собой аэродинамический разомкнутый контур, через который прокачивается воздух (рис. 1) [3,4].

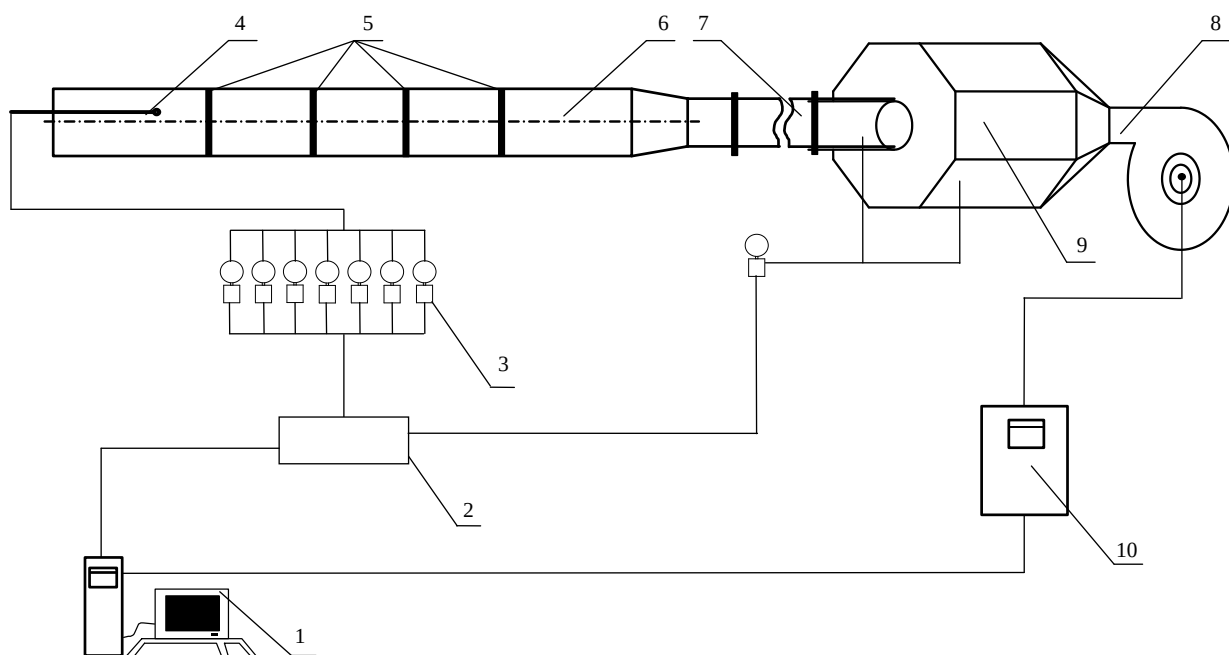
В состав экспериментального стенда входят:

- экспериментальная модель (ЭМ);
- вентилятор высокого давления;
- расходомерное устройство с участками стабилизации потока;
- измерительный комплекс.

Экспериментальная модель, представляющая собой фрагмент ТВСА (рис. 2), выполнена с коэффициентом геометрического подобия  $K_f=4,4$ , имеет длину  $L=3$  м и состоит:

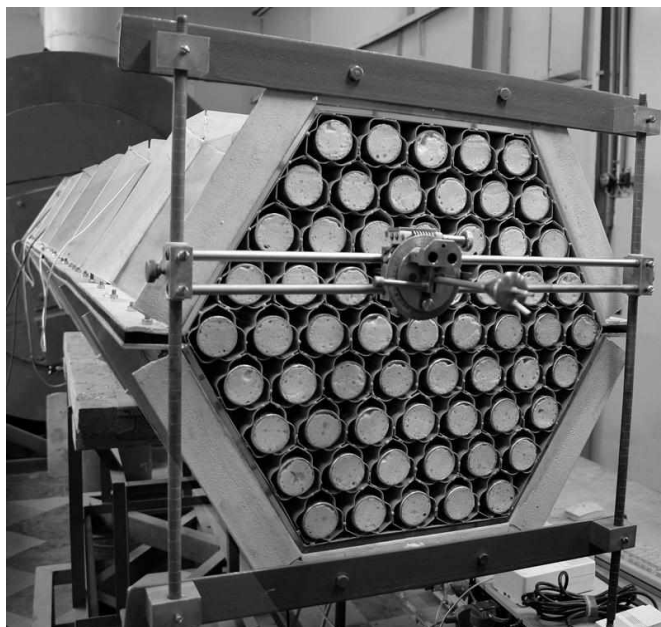
- из шестигранного чехла;
- 61 цилиндрического твэла-имитатора с описанными диаметрами  $40^{+0,5}$  мм;
- устройства фиксации датчика;
- двух поясов дистанционирующих решеток;
- пояса перемешивающей решетки.

Исследуемый пояс перемешивающей решетки представлен на рис. 2. Высота ячеек перемешивающей решетки составляет 66 мм (что соответствует 15 мм натурной ПР). Перемешивающая решетка имеет турбулизирующие дефлекторы, которые улучшают перемешивание потока теплоносителя. Величина угла отгиба турбулизирующего дефлектора составляла  $35^\circ$ , а высота – 19,8 мм (что соответствует высоте 4,5 мм натурального дефлектора).

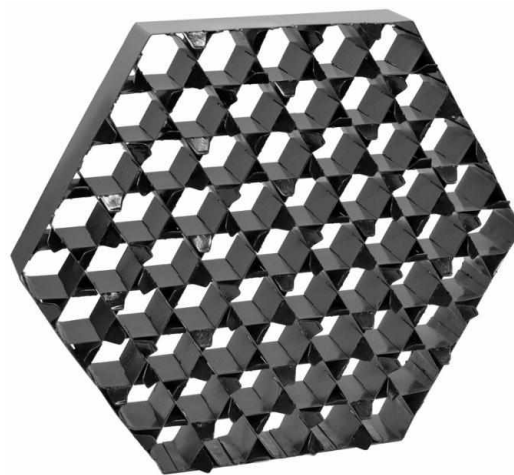


**Рис. 1. Общий вид экспериментального стенда:**

1 – ЭВМ; 2 – базовый блок коммутации/измерения Agilent 34980A; 3 – преобразователи давления САПФИР-22Р; 4 – пневмометрический зонд; 5 – статические отборы;  
6 – экспериментальная модель; 7 – успокоительный участок; 8 – вентилятор высокого давления;  
9 – ресиверная емкость; 10 – преобразователь частоты



а)



б)

**Рис. 2. Выходное сечение экспериментальной модели и исследуемый пояс перемешивающей решетки:**

а – выходное сечение экспериментальной модели;  
б – пояс перемешивающей решетки типа «порядная прогонка»

Для измерения направления и величины вектора скорости, а также давления в про-

странственном потоке использовался пневмометрический зонд с конической чувствительной частью, имеющей пять приемных отверстий (рис. 3).



**Рис. 3. Чувствительная часть пятиканального пневмометрического зонда**

Для получения детальной информации о трехмерном течении потока исследования локальной гидродинамики теплоносителя проводились в стандартной области (рис.4). Область включала в себя определенное количество ячеек, которые разбивались на зоны измерения. В каждой из таких зон замеры проводились в 14 сечениях по длине ЭМ.

Среднеквадратичные отклонения величин  $W_x$ ,  $W_y$ ,  $W_z$  составляют 2, 2, 2,5% от абсолютной скорости соответственно. Предельные отклонения проекций абсолютной скорости на оси  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  при доверительной вероятности 0,997 не превышают 6%, 6% и 7,5% от абсолютной скорости.

#### **Результаты исследования локальных полей скорости за дефлекторами перемешивающей решетки типа «порядная прогонка» в модели фрагмента ТВСА реактора ВВЭР**

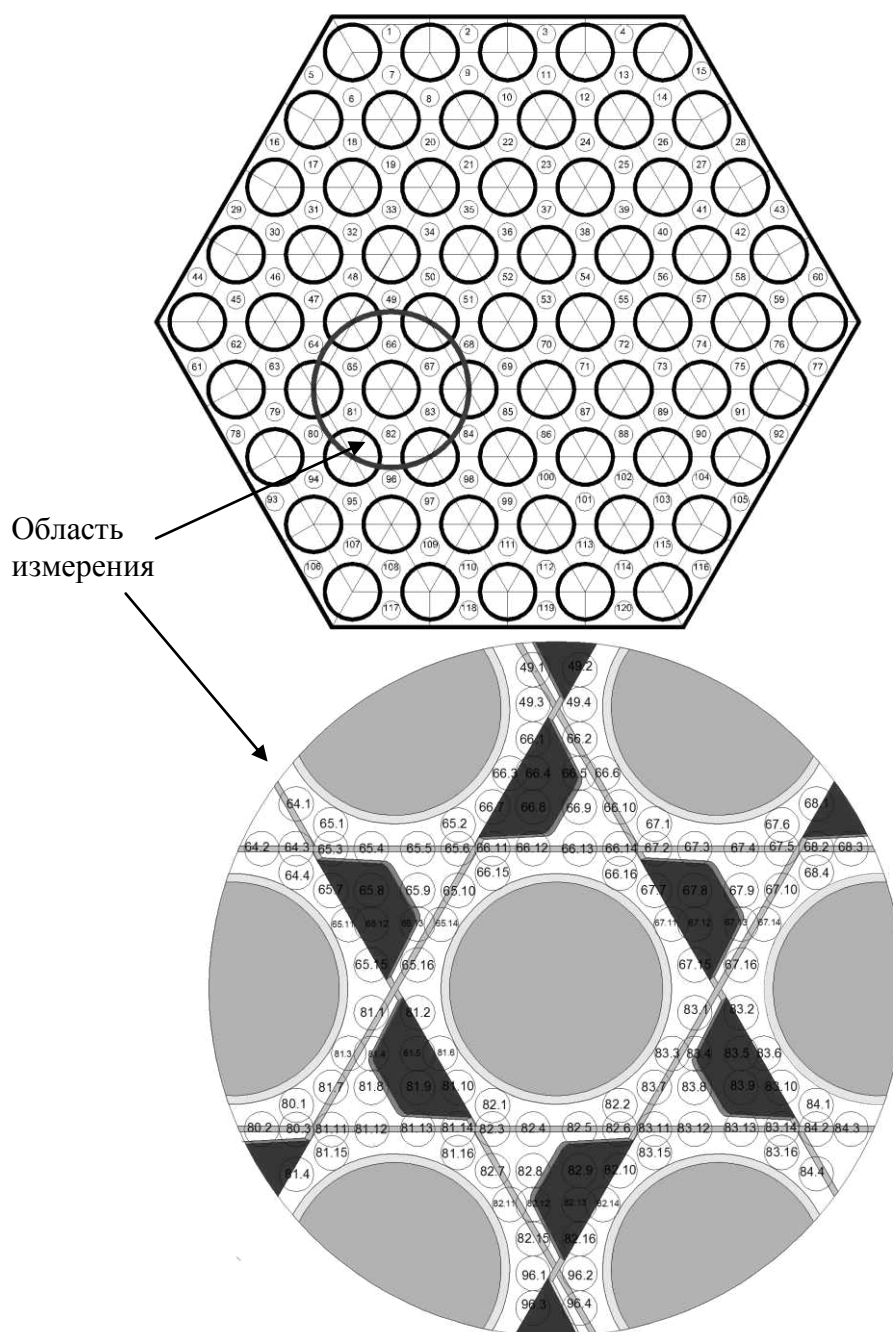
Экспериментальные исследования локальных гидродинамических характеристик потока теплоносителя проводились на масштабной модели ТВСА при числах  $Re = 92200$ . Цель данных исследований заключалась в измерении вектора скорости для стандартной области модели фрагмента ТВСА, включающей в себя ячейки №№ 49, 64, 65, 66, 67, 68, 80, 81, 82, 83, 84 (рис. 4).

Для получения наиболее полного представления о характере течения теплоносителя в рассмотренных областях были выбраны две формы представления экспериментальных данных:

- графическое построение распределения проекций составляющих абсолютной скорости  $W_x$ ,  $W_y$ ,  $W_z$ , отнесенных к среднерасходной скорости в зависимости от относительной координаты;
- графическое построение векторного поля поперечных скоростей в стандартной области в характерных сечениях по длине экспериментальной модели.

Первая форма позволяет количественно оценить значения проекций абсолютной скорости в стандартной области, а вторая – качественно определить основные закономерности течения теплоносителя.





**Рис. 4. Расположение стандартной области  
в поперечном сечении экспериментальной модели**

### Выводы

1. За дефлекторами происходит направленное движение потока теплоносителя, обусловленное расположением дефлекторов, т.е. отклоненный дефлектором поток приобретает поперечные составляющие скорости на выходе из перемешивающей решетки, и далее, посредством механизма конвективного переноса часть поперечного потока теплоносителя из каждой ячейки переходит в соседние ячейки, смешиваясь при этом с основным осевым потоком;

2. За решеткой перемешивающие свойства снижаются, вследствие уменьшения поперечных составляющих скорости. Наличие турбулентного трения приводит к диссипации энергии движения потока, что быстро уменьшает интенсивность поперечных конвективных течений, создаваемых дефлекторами решетки;

3. Максимальное значение поперечной скорости наблюдается сразу за дефлекторами и достигает 40% от аксиальной составляющей скорости, которые снижаются до 20% на расстоянии  $\Delta l/d \approx 5,00$  от решетки. Дальнейшее затухание относительных поперечных скоростей прекращается на расстоянии  $\Delta l/d = 29,5$  (рис. 5).

4. В области межъячейкового зазора за ПР относительно ячеек, где дефлекторы расположены в противоположные стороны по отношению друг к другу, наблюдается вихревой характер движения теплоносителя, имеющий протяженность  $\Delta l/d \approx 2$  (рис. 6).

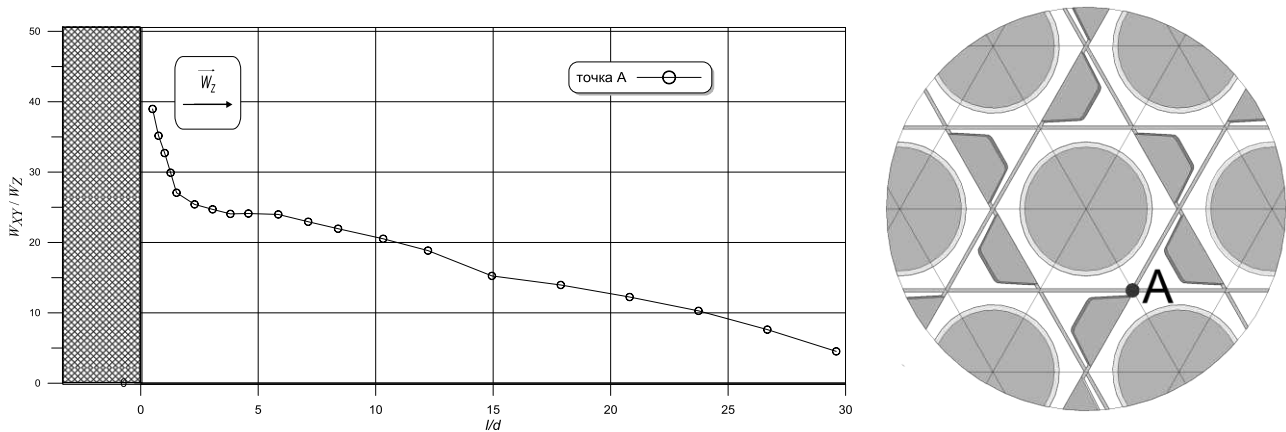


Рис. 5. Распределения относительной поперечной скорости за ПР типа «порядная прогонка» с дефлекторами

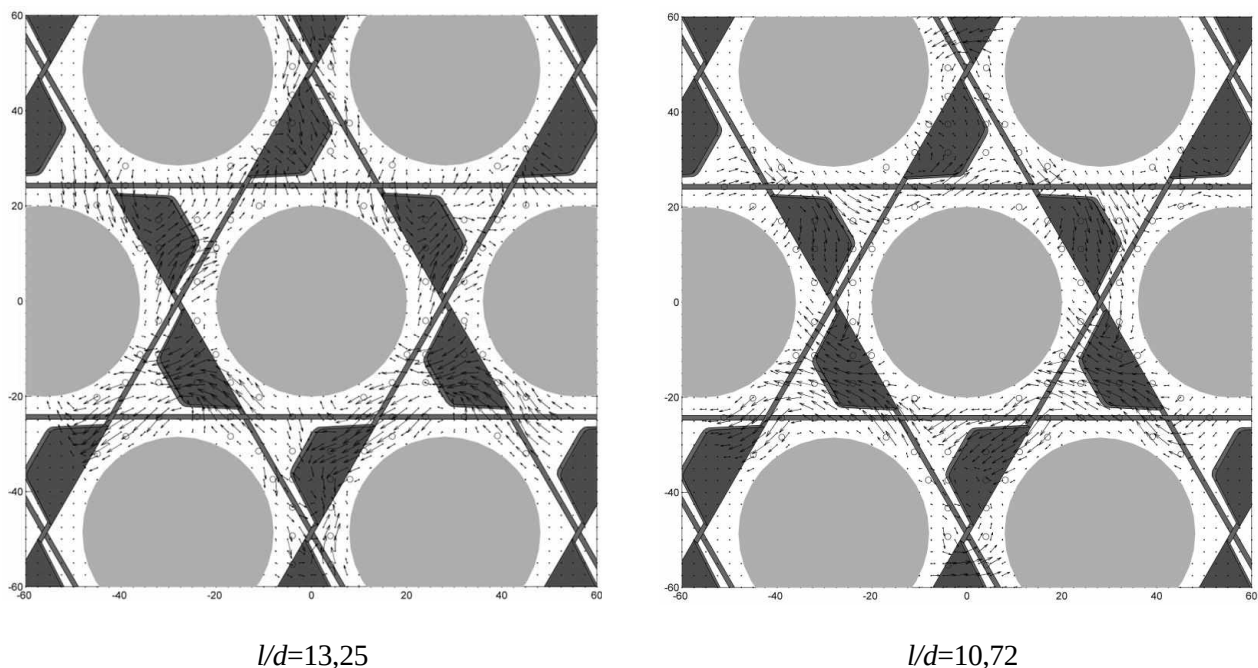


Рис. 6. Векторные поля поперечных составляющих скорости за дефлекторами перемешивающей решетки при  $l/d=13,25$  и  $l/d=10,72$

Таким образом, определены характеристики локальной гидродинамики потока теплоносителя за дефлекторами перемешивающей решетки типа «порядная прогонка» ТВСА для реакторов ВВЭР–1000 и ВБЭР–300.

Обобщена экспериментальная информация и создан банк данных для верификации CFD-кодов и программ детального ячейечного расчета активных зон водо-водяных ядерных

реакторов, с целью уменьшения консерватизма при обосновании теплотехнической надежности активных зон.

*Работа выполнена при поддержке гранта Нижегородской области в сфере науки, технологий и техники.*

### Библиографический список

1. **Бородин, С.С.** Экспериментальные исследования гидродинамики и массообмена потока теплоносителя в фрагменте активной зоны реактора ВВЭР-300 / С.С. Бородин [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2013. №2. С. 126–133.
2. **Бородин, С.С.** Исследования массообменных характеристик и эффективности перемешивающих решеток ТВС-АЛЬФА реакторов ВВЭР / С.С.Бородин [и др.] // Труды пятой Российской национ. конф. по теплообмену: в 8 т. М., 2010. Т. 1. С. 177–180.
3. **Дмитриев, С.М.** Экспериментальные исследования гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВСА ВВЭР / С.М. Дмитриев [и др.] // Атомная энергия. 2012. Т. 113. № 5. С. 252–257.
4. **Дмитриев, С.М.** Особенности локальной гидродинамики и массообмена теплоносителя в ТВС реакторов ВВЭР и PWR с перемешивающими решетками / С.М. Дмитриев [и др.] // Тепловые процессы в технике. 2013. Т. 5. № 3. С. 98–107.

*Дата поступления  
в редакцию 07.02.2014*

**S.M. Dmitriev, I.V. Karatushina, A.N. Pronin, V.D. Sorokin, A.E. Khrobostov**

### EXPERIMENTAL RESEARCHES OF VELOCITY FIELDS IN FUEL ASSEMBLIES OF WWER AND VBER REACTORS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose.** The main aim of research was study hydrodynamic and mass exchange heat-carrier flow features in fuel assemblies in the WWER and VBER reactors using the belts of mixing grids «run row upon row».

**Design/methodology/approach.** The main method of investigation of hydrodynamics in the nuclear reactor FA is an experimental research of full-size fuel assemblies and cores models on aero- and hydrodynamics stands. Researches of coolant local hydrodynamics are based on measurements of local velocity vectors with five-hole pressure probe inside experimental model.

**Findings.** Characteristics of local hydrodynamics coolant flow in WWER and VBER reactors fuel assembly were defined. Features of coolant stream behind mixing grid «run row upon row» were revealed. The local hydrodynamic characteristics of coolant and fading of disturbances were determined.

**Research limitations/implications.** The received results can be used as a database for verification of CFD-codes and of programs calculation cell-by-cell of active zone with TVSA. Researches data can be used to define more precisely local hydrodynamic characteristics of current of coolant with the purpose of reduction conservatism at calculations heat-engineering reliability of a core WWER and VBER.

**Originality/value.** Originality of this article is in local hydrodynamics of coolant research, and revealing features and conformity of coolant flow in the nuclear reactor FA to physical laws. Therefore we can prove heat engineering reliability of a core with TVSA.

*Key words:* nuclear reactor, fuel assembly, hydrodynamics of coolant, mixing grid.

УДК 534.2:621.37

В.А. Узлов, Г.И. Шишков, В.В. Щербаков

**ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приведен обзор статей, опубликованных отечественными и зарубежными авторами по вопросам формирования снежного покрова и создания его математических моделей, связывающих такие его параметры, как плотность и влажность с комплексной диэлектрической проницаемостью.

*Ключевые слова:* снежный покров, плотность снега, влажность снега, диэлектрическая проницаемость снега.

**Введение**

Особенность климата РФ заключается в том, что значительная часть ее территории на длительное время покрывается снегом. После многочисленных снегопадов образуется снежный покров (СП), состояние которого имеет исключительно важное народнохозяйственное значение.

В частности, СП является полотном дороги для наземных транспортных средств (ТС), вопросы передвижения которых по снегу хорошо освещены в научных публикациях [1-12]. Выяснено, что для оценки проходимости и подвижности ТС необходимо знать ряд физико-механических параметров СП, важнейшими из которых являются структура, толщина, плотность, температура и влажность.

Знание этих параметров СП в любой момент времени имеет большое практическое значение, так как позволяет прогнозировать развитие паводковой обстановки, состояние и оценку лавинной опасности, состояние СП как дорожного полотна пути.

Наиболее применимыми методами определения параметров СП являются дистанционные методы и среди них – исследование в СВЧ-диапазоне, позволяющее измерять радиофизические параметры СП, а по ним восстанавливать его физико-механические параметры.

Наиболее важным радиофизическим параметром является относительная диэлектрическая проницаемость СП. Снег представляет собой смесь из трех фаз воды: твердой (кристаллы льда, снежинки), жидкой (вода), газообразной (пары воды и воздух), – то есть является смесью трех компонент, радиофизические параметры которых существенным образом различны. Состав СП зависит от термодинамического равновесия этих фаз. Все физические свойства снега не могут длительно сохраняться во времени, так как изменение одной из фаз из-за метеорологических факторов ведет к изменению формы и размеров снежинок, их связанности, а это приводит к изменению как плотности и влажности, так и относительной диэлектрической проницаемости СП.

Установление наиболее точных количественных соотношений между радиофизическими и физико-механическими параметрами СП является очень важной задачей, при создании математической модели снежного покрова, учитывающей все его состояния. Знание этих соотношений дает возможность при измерении в СВЧ-диапазоне частот относительной диэлектрической проницаемости снега восстанавливать плотность и влажность СП в режиме реального времени, а по ним определять все остальные свойства снега как дорожного полотна, влияющие на проходимость ТС.

Рассмотрим наиболее важные процессы, происходящие в СП и влияющие на изменение его свойств.

### Формирование снежного покрова

Снежный покров складывается в результате ряда снегопадов, отдаленных друг от друга значительными промежутками времени. Снег – это природное минеральное образование, отличающееся от других минералов тем, что его существование протекает вблизи тройной точки воды, поэтому процессы его образования содержат неопределенность, а изменения происходят значительно быстрее, чем у других минералов. Поэтому под влиянием постоянно идущих в толще СП процессов режеляции, сублимации, взгонки, рекристаллизации, фирнизации происходит процесс перекристаллизации и снег приобретает зернистую структуру.

Суть этих процессов кратко характеризуется следующим образом [2, 3, 13].

Режеляция, или повторное смерзание, заключается в плавлении и последующем смерзании тех частей ледяных кристаллов, которые находятся в местах повышенных давлений.

Рекристаллизация – это изменение размеров и формы кристаллов льда за счет перехода атомов и молекул с кристаллической решетки одного кристалла на решетку другого и срастания отдельных кристаллов.

Процессы взгонки и сублимации связаны с тем, что свободная поверхность каждой снежинки одновременно отдает молекулы воды (взгонка), минуя жидкую фазу, и поглощает их (сублимация). Образовавшийся над выступами снежинок водный пар устремляется во впадины и, перенасыщая воздух, осаждается в них. В результате поверхность снежных кристаллов округляется, и с течением времени снег становится крупнозернистым. Эти процессы наиболее интенсивно осуществляются в условиях постоянного температурного перепада от теплых нижних к холодным верхним слоям снега. Поэтому в нижних слоях происходит отбор крупных зерен, так как испаряются преимущественно мелкие. Связи между ними нарушаются, и снег становится разрыхленным.

При колебаниях температуры около 0°C приводит к таянию и смерзанию снега, значительно ускоряющему процесс укрупнения снежных зерен. Этот процесс называется фирнизацией. С наступлением периода снеготаяния снег успевает перекристаллизироваться во всей толще в течение нескольких дней таяния.

Большое влияние на эти процессы оказывают как климатические, так и природные условия. Установление точных количественных связей между метеорологическими факторами, временем и соответствующим состоянием СП – задача очень сложная. Тем не менее, в [14-17] приведено решение этой задачи.

На основе теории процессов во фрактальных средах, термодинамики, теории теплопереноса, теории грануляции были созданы математические модели позволяющие отображать процессы формирования СП и его первичного уплотнения, метаморфизма и уплотнения СП под действием различных процессов, таяния СП.

В работе [14] рассматривается агрегационный подход в моделировании СП, подчиняющимся степенным зависимостям от параметров. Фрактальные свойства СП, с математической точки зрения, выражаются в том, что если выбрать одну из связанных частиц в качестве центра сферы, радиус которой  $R$  существенно превышает размер отдельной частицы среды, то масса вещества  $m$ , сосредоточенная внутри сферы, зависит от радиуса по степенному закону

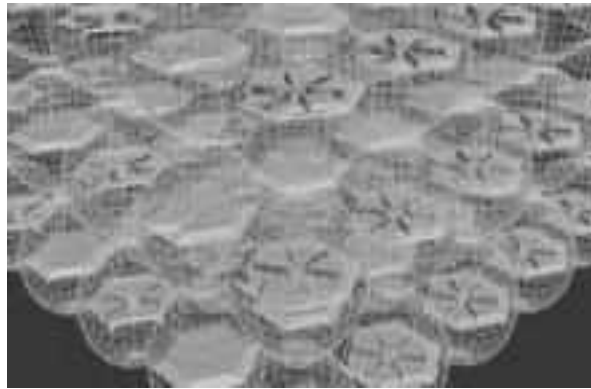
$$m(R) = R^D, \quad (1)$$

где параметр  $D$  является фрактальной размерностью объекта. Для снежинок, представляющих собой фрактальные кластеры, этот параметр находится в пределах  $1,7 \leq D \leq 2,5$ .

На основе теории грануляции [14-16] разработана модель морфологии снежинок, формирующих СП, и решена задача классификации снежных осадков по метеорологическим данным. Затем рассматривается существование снежинок после завершения фазы транзита из высоких слоев атмосферы и попадания в СП, который имеет тепловой контакт с почвой снизу и приземными слоями атмосферы сверху.

В работе [17] была предложена модель СП в виде упаковки сфер, содержащих в себе

отдельные снежинки (рис. 1). В рамках используемой структурной модели СП исследовались возможные механизмы уплотнения снега, приводящие к изменению типа упаковки сфер.



**Рис. 1. Модель снежного покрова**

Передача тепла в снежной среде выполняется тремя основными способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Наличие этих механизмов переноса тепла требует использования модели аномального теплопереноса снизу вверх снежного покрова. Расчеты показывают, что при увеличении фрактального размера у основания СП образуется зона более высокой температуры, что приводит к ускоренному метаморфизму нижних слоев (глубинный иней). В плотном снегу аномальность теплопереноса выражается более явно, что хорошо согласуется с эмпирическим описанием процессов метаморфизма и опытными данными.

### **Классификация видов снега**

При формировании СП обычно пользуются качественным описанием видов снега, классифицируя их по структуре и плотности. Исследования, проведенные в ОНИЛВМ [2, 3], рекомендуют снег как полотно пути классифицировать: фрикционно-связной; фрикционный; связной; корковый.

К фрикционно-связному относят сухой снег влажностью до 12%. Размеры кристаллов льда достигают величины от долей миллиметра до  $2\div 5$  мм. Фрикционный снег характеризуется сыпучестью, то есть отсутствием механических связей между зернами льда. Максимальные размеры кристаллов льда могут достигать величин до  $5\div 10$  мм. Связным считают снег повышенной влажности (более 12%), обладающий высокой пластичностью. Корковым называют снег, на поверхности которого в результате метеорологических воздействий образовалась прочная корка – наст.

Рассмотренные физические процессы, протекающие в снеге, и его физические свойства позволяют сделать вывод, что снег можно рассматривать как дисперсное тело. В терминологии механики грунтов дисперсное тело называют грунтом. Однако СП имеет ряд особенностей, по сравнению с классическими грунтами.

Основной особенностью снега является то, что в нем действуют кристаллизационные (хрупкие, жесткие, необратимые) и водно-коллоидные (пластичные, мягкие, обратимые) связи. В снежном покрове очень быстро (практически в течение нескольких секунд) восстанавливаются новые кристаллизационные связи, а в классических грунтах это происходит в течение значительно большего времени. В естественных грунтах эти связи возникают вследствие наличия свободной воды, заполняющей все его поры. В снеге коллоидные связи образуются вследствие плавления кристаллов от трения при перемещении их друг относительно друга. Образующаяся вода при отрицательной температуре переходит в лед, создавая новые кристаллизационные связи. Такое своеобразие твердой фазы СП обуславливает особенности снега как грунта.

### Основные физико-механические и радиофизические параметры снежного покрова

Важнейшими физико-механическими параметрами СП являются плотность, температура, влажность, структура и текстура.

Плотность снега – это масса единицы объема снега. Она зависит от многих факторов и может находиться в пределах от 0,01 до 0,7 г/см<sup>3</sup>. Плотность зависит от места залегания. Например, в лесу, при отсутствии уплотняющего действия ветра, плотность всегда меньше, чем на открытых местах. По данным отраслевой научно-исследовательской лаборатории вездеходных машин (ОНИЛВМ) НГТУ им. Р.Е. Алексеева [2, 3], средняя плотность снега по различным районам РФ в течение зимне-весеннего периода меняется от 0,15 до 0,6 г/см<sup>3</sup>. В средней полосе России при высоте СП больше 0,3 м средняя плотность снега в течение зимних месяцев колеблется в пределах от 0,2 до 0,35 г/см<sup>3</sup>.

Плотность изменяется по глубине СП. Это связано с процессом метаморфизма снега, происходящим под влиянием температуры в СП. Плотность меняется при изменении температуры воздуха и, как следствие, температура снега. С повышением температуры плотность увеличивается.

Перепад температуры между верхним и нижним слоями снега может достигать значительных величин (20÷25°С). При этом температура верхних слоев снега соответствует температуре окружающего воздуха, а температура снега у земли редко опускается ниже -5°С.

Влажность снега можно определить как отношение массы воды в снеге к массе его сухой составляющей. Признаки появления воды в снеге бывают при температуре -4°С. При температурах -1 ÷ 0,5°С влажность составляет 1,5-2%. Увеличение влажности приводит к увеличению плотности снега.

Структура снега характеризуется размером и формой зерен льда, их взаимным расположением и характером связей между ними. Чем плотнее «упакованы» зерна льда, тем выше плотность снега. На рис. 2 приведен фотоснимок с характерной зернистой структуры снежного покрова [18].

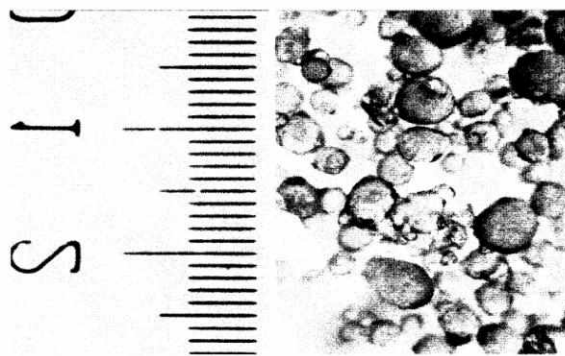


Рис. 2. Зернистая структура снежного покрова

По данным ОНИЛВМ [2, 3], максимальная плотность, полученная путем вибрации в сочетании с укатыванием сухого снега поршнем, составляет 0,58 г/см<sup>3</sup>. Это представляет предел, за которым упаковка зерен теряет свою эффективность. Дальнейший процесс уплотнения может происходить из-за изменения размеров и форм зерен.

Ярко выраженная слоистость СП определяет текстуру снежного покрова. На рис. 3 приведен фотоснимок разреза всей толщи снега, на котором хорошо видна слоистость СП [19].

Слоистость приводит к анизотропии СП, то есть его физические свойства будут различны в различных направлениях.

Электрические свойства СП как диэлектрика описываются с помощью комплексной

относительной диэлектрической проницаемостью (ДП), которая описывает взаимодействие СП с электрическим полем.

$$\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon'', \quad (2)$$



Рис. 3. Слоистая текстура снежного покрова

Действительная часть ДП ( $\varepsilon'$ ) является мерой того, сколько энергии внешнего электрического поля запасено в СП. Мнимая часть  $\varepsilon''$  называется коэффициентом потерь и является мерой потерь энергии, учитывая инерционность процесса поляризации СП и его проводимость.  $\varepsilon''$  всегда больше нуля и для диэлектриков много меньше  $\varepsilon'$ . Обычно пользуются понятием тангенса угла потерь  $\tan \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$ , определенными как отношение мнимой части ДП к ее действительной части.  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  связаны друг с другом соотношением Крамерса-Кронига [21], позволяющее определить  $\varepsilon'$  по известной величине  $\varepsilon''$  и наоборот.

Для определения диэлектрической проницаемости СП при дистанционном зондировании СВЧ-излучением необходимо учитывать слоистость и структуру снега [21, 22]. Количественное восстановление диэлектрической проницаемости снега, по данным измерений СВЧ-сигнала рассеяния, от СП требует создания его электродинамической модели. С электродинамической точки зрения, снег представляет собой сильно рассеивающую среду, состоящую из дискретных плотно упакованных рассеивателей – зерен снега, например, сферической формы, как это изображено на рис. 4 [20].

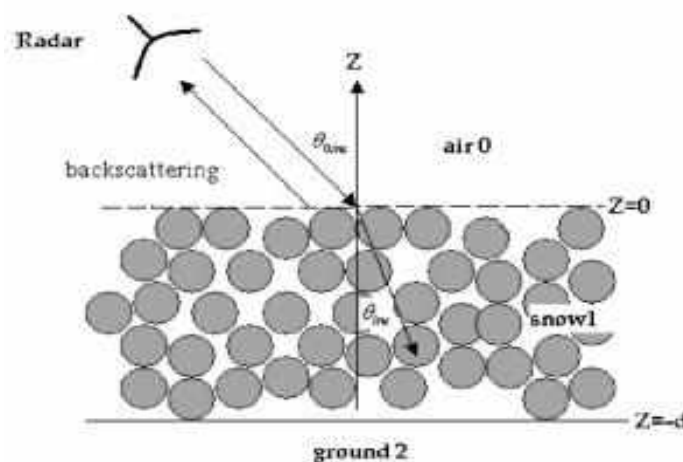


Рис. 4. Модель структуры снежного покрова в виде сферических зерен льда

Микроволновое излучение, проходящее сквозь снежную толщу, поглощается и рассеивается снежными кристаллами. Существует два подхода к способам представления снежно-



го покрова. В первом случае вся толща СП представляется как непрерывное объемное неоднородное пространство [26], в другом – состоит из большого числа слоев (равное количеству снегопадов и оттепелей) [26]. Модель такой структуры приведена на рис. 5. Многослойность СП приводит к его электрической анизотропии.

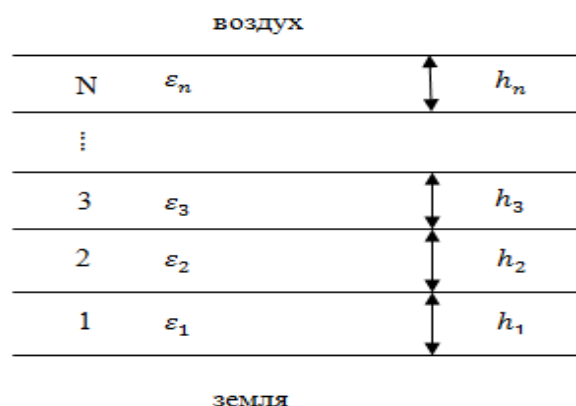


Рис. 5. Модель слоистой структуры снежного покрова

Пусть  $h_1, h_2, h_3 \dots h_N$  – толщина каждого слоя СП с соответствующим значением эффективной диэлектрической проницаемости слоев  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3 \dots \varepsilon_N$ . Когда линейные размеры слоев  $h_i \ll \lambda$ , то такая упорядоченная структура приобретает свойства кристалла. Так если вектор электрического поля перпендикулярен к границам слоев, то эффективная диэлектрическая проницаемость определяется выражением

$$\varepsilon'_\perp = \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{\varepsilon'_i}, \quad (3)$$

если электрический вектор падающего поля параллелен слоям, то получаем

$$\varepsilon'_\parallel = \sum_{i=1}^N h_i \varepsilon'_i. \quad (4)$$

Каждый слой состоит из дискретных некоррелированных и когерентно взаимодействующих рассеивателей. В качестве рассеивателей принимают: для сухого снега – зерна льда [27], для влажного снега – зерна льда, покрытые пленкой воды, которая также собирается в снежных порах и образует мениски между ледяными зернами [28, 29]. Размер зерен, их дисперсия и концентрация существенным образом влияет на электрофизические характеристики СП [23–25].

### Формулы для расчета диэлектрической проницаемости снега

Таким образом, каждый слой СП рассматривается как многокомпонентная смесь, состоящая из льда и воздуха в случае сухого снега и льда, воздуха и воды – в случае влажного снега. Эффективная диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon_\Sigma$  каждого слоя может быть рассчитана по формулам для многокомпонентной смеси.

Действительная часть относительной эффективной диэлектрической проницаемости смеси ( $\varepsilon'_\Sigma$ ) зависит от диэлектрической проницаемости компонент, их содержания и распределения. Наиболее известные формулы расчета действительной части  $\varepsilon'_\Sigma$  эффективной диэлектрической проницаемости многокомпонентной смеси приведены в табл. 1, где учитываются объемное соотношение компонент, их форма и объемное распределение [32–40].

В табл. 1 приведены зависимости для расчета  $\varepsilon_\Sigma$  среды при ее различном составе и структуре ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_i$  – диэлектрические проницаемости составляющих,  $y_1, y_2, y_i$  – их объемные концентрации соответственно).

Таблица 1

## Формулы расчета эффективной диэлектрической проницаемости смеси

| Модель среды                                                                                                                | Уравнение, определяющее $\varepsilon_{\Sigma}$ , автор                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Одноразмерные сферы с $\varepsilon_2$ , распределенные в пространстве. Между ними – заполняющий компонент с $\varepsilon_1$ | $\varepsilon_{\Sigma} = \frac{2\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + 2y_2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{2\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - 2y_2(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)} y_1$ , М.А. Максвелл    |
| Плотно упакованные сферы 2-ух сортов с $\varepsilon_2$ . Между ними расположен заполняющий компонент с $\varepsilon_1$      | $\varepsilon_{\Sigma} = \frac{\varepsilon_{\Sigma} - \varepsilon_1}{3\varepsilon_{\Sigma}} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_{\Sigma}} y_2$ , К. Бетчер         |
| Составляющие смеси расположены в пространстве хаотично. Невзаимодействующие компоненты                                      | $\lg \varepsilon_{\Sigma} = \sum_i y_i \lg \varepsilon_i$ , К. Лихтенеккер                                                                                                                        |
| Неупорядоченная смесь двух компонентов для не взаимодействующих компонентов                                                 | $\varepsilon_{\Sigma} = a \sqrt{a^2 + \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{2}}$ , где $a = \frac{(3y_1 - 1)\varepsilon_1 + (3y_2 - 1)\varepsilon_2}{4}$ , В.Н. Оделевский                           |
| Смесь двух компонентов                                                                                                      | $\varepsilon_{\Sigma} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_1 y_2 (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{\varepsilon_1 + \frac{1 - y_2}{3} (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}$ , Дахнов                     |
| Смесь эллипсоидных частиц с заполняющим компонентом с высокой разностью по $\varepsilon$                                    | $y_1 \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_{\Sigma}}{\varepsilon_1 + 2\varepsilon_{\Sigma}} + y_2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_{\Sigma}}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_{\Sigma}} = 0$ , Бриггеман |
| Смесь одноразмерных сфер с $\varepsilon_2$ , между ними среда с $\varepsilon_1$ со слабым заполнением.                      | $\frac{\varepsilon_{\Sigma} - \varepsilon_2}{\varepsilon_{\Sigma} + 2\varepsilon_2} = y_1 \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - 2\varepsilon_2}$ , Максвелл-Гарнетт                |
| Смесь произвольно сформированных разнородных частиц                                                                         | $\varepsilon_{\Sigma}^{1/3} = y_1 \varepsilon_1^{1/3} + y_2 \varepsilon_2^{1/3}$ , Лооуенга                                                                                                       |
| Смесь частиц с формой эллипсоида, сферы, цилиндра. Между ними заполняющий компонент                                         | $\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_2 \left[ 1 + \frac{y_1}{3} \left( 2 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \right) \right]$ , Polder and van Santen                                            |

В случае снежного покрова необходимо рассмотреть свойства двух основных составляющих снега – воды и льда.

Вода относится к дипольным (полярным) диэлектрикам и хорошо описывается уравнениями Дебая:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon' + i\varepsilon'' = \frac{\varepsilon_{\text{ст}} + \omega^2 \tau \varepsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau^2} + i \frac{(\varepsilon_{\infty} - \varepsilon_{\text{ст}}) \omega \tau}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_{\text{ст}} = 80$  – диэлектрическая проницаемость воды в постоянном поле ( $\omega = 0$ );  $\varepsilon_{\infty} = 1,8$  – диэлектрическая проницаемость воды в оптическом диапазоне;  $\tau = 10^{-10} \div 10^{-15}$  с – время релаксации молекул воды после действия электромагнитного поля [30].

Электрические характеристики льда также хорошо подчиняются соотношению Дебая (5), где  $\varepsilon_{\text{ст}} = 92 \div 103$  при  $t^{\circ} = 0^{\circ} \div -45^{\circ} \text{C}$  в случае поликристаллического льда,  $\varepsilon_{\infty} = 3,15 \pm 0,05$  и не зависит от температуры. Значение  $\varepsilon'$  падает от 4,1 до 3,3 при изменении частоты от 1 до 100 МГц. В Санти- и миллиметровом диапазонах  $\varepsilon' = 3,17$  [21]. Время релаксации льда  $\tau = 10^{-4}$  с и зависит от температуры по закону  $\lg \tau = \frac{2900}{T} - 15,3$ , где  $T$  – абсолютная температура. Мнимая часть  $\varepsilon''$  обычно принимается равной  $\varepsilon'' = 10^{-4} \div 5 \cdot 10^{-2}$ .

Большое разнообразие формул для расчета эффективной ДП смесей породило большое количество эмпирических формул, соответствующих различным состояниям снежного покрова. Эти формулы учитывают плотность компонент смеси, представляющей собой СП, размеры, вид и распределение зерен снега в СП.

В результате использования формул из табл. 1 для разнородных смесей с учетом частотной зависимости диэлектрической проницаемости воды и льда были разработаны эмпирические формулы, связывающие электрические параметры снежного покрова  $\varepsilon'_{\Sigma}$ ,  $\varepsilon''_{\Sigma}$  с плотностью  $\rho$ , влажностью  $w$  и температурой СП. Рассмотрим два разных состояния снежного покрова – сухой и влажный снег.

В случае сухого снега Tiuri [39], изучая свойства СП на частотах 1,9 ГГц, 5,6 ГГц, 12,6 ГГц, установил, что  $\varepsilon_{\text{эфф}}$  ДП СП зависит исключительно от плотности СП, независимо от его возраста:

$$\varepsilon'_{\Sigma} = 1 + 1,7\rho + 0,7\rho^2. \quad (6)$$

где  $\rho$  – относительная плотность сухого СП (по отношению к плотности воды).

Hallikainen [33] в частотном диапазоне 4-18 ГГц получил формулу для сухого снега:

$$\varepsilon'_{\Sigma} = 1 + 1,91\rho. \quad (7)$$

Cumming [43] чтобы вычислить эффективную диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon'_{\Sigma}$  использовал теорию смеси [34]:

$$\frac{\varepsilon'_{\Sigma} - 1}{3\varepsilon'_{\Sigma}} = \frac{\rho_i}{\rho_s} * \frac{\varepsilon_i - 1}{\varepsilon_i + 2\varepsilon'_{\Sigma}}, \quad (8)$$

где  $\rho_i = 0,917 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  – плотность льда,  $\varepsilon_i = 3,17$  – действительная часть диэлектрической проницаемости льда. Формула (8) работает в диапазоне относительной снежной плотности  $\frac{\rho_i}{\rho_s} = 0 \div 0,5$ . Диаметр снежного зерна находится в пределах от 0,5 ÷ 1,5 мм.

Sihvola и Kong [36] на основе формулы смеси Polden and van Santen [35], учитывая, что зерна льда представляют собой эллипсоид вращения, получили формулу для расчета действительной части эффективной ДП СП:

$$\varepsilon'_{\Sigma} = 1 + \frac{v(\varepsilon_i - 1) \sum_{i=1}^3 \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_a + A_i(\varepsilon_i - 1)}}{3 - v(\varepsilon_i - 1) \sum_{i=1}^3 \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_a + A_i(\varepsilon_i - 1)}}, \quad (9)$$

где  $\varepsilon_a = 1 + \alpha(\varepsilon'_{\Sigma} - 1)$ ,  $\alpha = 1 - A_i$ ,  $v$  – объемная доля льда СП;  $\varepsilon_i$  – диэлектрическая проницаемость эллипсоида зерен льда;  $A_i$  – показатель деполяризации эллипсоидов вдоль осей  $x, y, z$  (1–3), причем для эллипсоида  $A_1 + A_2 + A_3 = 1$ .

Frolov and Macheret [32], используя формулу смешивания Лооуенга [34], получили формулу для действительной части относительной эффективной ДП сухого снега:

$$\varepsilon'_{\Sigma} = \left[ \frac{\rho}{\rho_i} \left( \varepsilon_i^{\frac{1}{3}} - 1 \right) + 1 \right]^3, \quad (10)$$

где  $\varepsilon_i = 3,17$  – действительная часть ДП льда;  $\rho_i = 0,917 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  – его плотность;  $\rho$  – плотность СП.

Для сухого и влажного многослойного снега в [41, 43] Matzler, используя формулу смеси [34] Лооуенга, получил выражение для  $\varepsilon'_{\Sigma}$ :

$$\varepsilon'_{\Sigma} = 1 + 1,5995\rho + 1,86\rho^3; \quad 0 \leq \rho \leq 0,4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \quad (11)$$

$$\varepsilon'_{\Sigma} = ((1 - v)\varepsilon_o + v\varepsilon_i)^3; \quad \rho > 0,4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3},$$

где  $\varepsilon_o = 1$ ;  $\varepsilon_i = 3,215$ ;  $v = \frac{\rho}{\rho_i}$ ,  $\rho_i = 0,917 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ ,  $\rho$  – плотность СП. Мнимая часть диэлектрической проницаемости СП дается выражением

$$\varepsilon''_{\Sigma} = \sqrt{\varepsilon'} k^2 v \varepsilon_i'',$$

где  $k$  – экспериментально найденный параметр:

$$k^2 \approx 0,44 \text{ при } v \leq 0,33; \quad k^2 \approx 0,54 \text{ при } v = 0,5. \quad (12)$$

Мнимая часть ДП для многослойной структуры влажного СП получена Tiuri [39]:

$$\varepsilon''_{\Sigma} = \varepsilon_i'' (0,52 \rho + 0,62 \rho^2), \quad (13)$$

где  $\rho$  – плотность снега,

$$\alpha = (0,00504 + 0,0062 * \theta) * \exp(-22,1 * \theta),$$

$$\theta = \frac{300K}{T} - 1,$$

$$\beta = \frac{B_1}{T} * \frac{\exp(\frac{b}{T})}{(\exp(\frac{b}{T}) - 1)^2} + B_2 f^2 + \exp(-10,02 + 0,0364 * (T - 273K)),$$

где  $f$  – частота, ГГц;  $T$  – абсолютная температура снега;  $B_1 = 0,0207 K * ГГц^{-1}$ ,  $b = 335 K$ ;  $B_2 = 1,16 * 10^{-11} ГГц^{-3}$  [43].

Для влажного снега, в случае диаметров зерен льда и воды, равных  $0,1 \div 2$ , мм следуя [39], получаем

$$\varepsilon'_{\text{сн}} = 1 + 1,7 \left( \frac{\rho_{\text{сн}}}{\rho_{\text{в}}} \right) + 0,7 \left( \frac{\rho_{\text{сн}}}{\rho_{\text{в}}} \right)^2 + 8,7W_V + 70W_V^2; \quad (14)$$

$$\varepsilon''_{\text{сн}} = \left( \frac{f}{10^9} \right) * (0,9W_V + 7,5W_V^2), \quad (15)$$

где  $\rho_{\text{сн}} \left( \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right)$  – плотность сухого снега;  $\rho_{\text{в}} \cong 1 \left( \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \right)$  – плотность воды;  $W_V$  – объемная влажность (объем воды по отношению к общему объему СП);  $f$  – частота, Гц. Формула соответствует частотному диапазону  $f = 500 \div 10^3$  МГц.

Используя формулу смеси Polder and van Santen [35], в работе [40] получена формула для вычисления ДП мокрого снега:

$$\varepsilon'_\Sigma = \varepsilon'_d \left[ 1 - \frac{W}{3} (81 - \varepsilon'_d) * \sum_{i=1}^3 \frac{1}{\varepsilon'_\Sigma + (81 - \varepsilon'_\Sigma) A_i} \right]^{-1}, \quad (16)$$

где  $A_i$  – коэффициент деполяризации для частиц льда в виде эллипса ( $A_1 + A_2 + A_3 = 1$ );  $\varepsilon'_d$  – ДП сухого снега (может быть вычислена по этой же формуле (16) при значениях, равных  $A_i = (0, 0, 1)$ , соответствующих распределению в виде ледяных дисков).

Приведенные модели снежного покрова и формулы расчета  $\varepsilon'_\Sigma$  и  $\varepsilon''_\Sigma$  не исчерпывают всего многообразия состояний снежной среды. Наличие влаги во время таяния приводит к значительному изменению ее физических и радиофизических характеристик, поэтому модели снежного покрова непрерывно совершенствуются.

Таким образом, в статье рассмотрены физико-механические и физико-электрические параметры СП, которые взаимосвязаны друг с другом. Это дает возможность с помощью дистанционного измерения параметров рассеянного СВЧ-излучения от снежного покрова измерить эффективную диэлектрическую проницаемость снега и, по приведенным в данной статье формулам, восстановить плотность и влажность снежного покрова.

#### Библиографический список

1. **Беляков, В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дисс. ... д-р техн. наук: 05.05.03 / Беляков В.В. – Нижний Новгород 1999. – 485 с.
2. **Макаров, В.** Расчет проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу / В. Макаров, В. Беляков, LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. 2012. – 160 с.
3. Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов [и др.]. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. – 191 с.
4. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. №1. С. 155–160.
5. **Макаров, В.С.** Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №1. С. 150–157.
6. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс... канд. техн. наук: 05.05.03 / Макаров В.С. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.

7. **Зезюлин, Д.В.** Расчетный анализ влияния параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снежному полотну пути / Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 41-42.
8. **Зезюлин, Д.В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс... канд. техн. наук: 05.05.03 / Зезюлин Д.В. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.
9. **Зезюлин, Д.В.** Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу / Д.В. Зезюлин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5; URL: [www.science-education.ru/105-6927](http://www.science-education.ru/105-6927) (дата обращения: 17.09.2012).
10. **Беляков, В.В.** Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу // В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 156–166.
11. **Беляков, В.В.** Транспортно-технологические проблемы Северного Кавказа / В.В. Беляков, У.Ш.Вахидов, Ю.И. Молев; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2009. – 330 с.
12. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения. Научно-техническое издание: монография / под ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛАН, 2004. – 961 с.
13. Макаров, В.С. Статистический анализ характеристик снежного покрова // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289> (дата обращения: 05.02.2013).
14. **Бутенков, С.А.** Математические модели сред с фрактальной структурой на основе методов пространственной грануляции / С.А. Бутенков [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. №9. С. 209–218.
15. **Сухинов, А.И.** Моделирование снежного покрова на кластерных вычислительных системах с использованием методов гранулирования многомерных данных / А.И. Сухинов, С.А. Бутенков, А.Л. Жуков // Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. №8. С. 213–223.
16. **Бутенков, С.А.** Гранулирование геометрических данных в задачах автоматизированного проектирования / С.А. Бутенков, А.Л. Жуков // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008. №9. С. 87–92.
17. **Жуков, А.Л.** Интеллектуальный прогноз и классификация состава свежеснежного покрова // Доклады Адыгской (Черкесской) международной академии наук. – Нальчик: 2010. Т.12. №2. С. 99–103.
18. **Kendra, J. R.** Radar Measurements of Snow: Experiment and Analysis / J. R. Kendra, K. Sarabandi, F.T. Ulaby // IEEE Trans. Geosciences Remote Sensing. 1998. V. 36. NO. 3. P. 864–879.
19. **Bernier, M.** The Potential of Times Series of C-Band SAR Data to Monitor Dry and Shallow Snow Cover / M. Bernier, J.P. Fortin // IEEE Trans. Geosciences Remote Sensing. 1998. V. 36. NO. 1. P. 226–243.
20. **Tsang, L.** Modeling Active Microwave Remote Sensing of Snow Using Dense Media Radiative Transfer (DMRT) Theory With Multiple-Scattering Effects / L. Tsang [et al.] // IEEE Trans. Geosciences Remote Sensing. 2007. V. 45. NO. 4. P. 990–1004.
21. Подповерхностная радиолокация / М.И. Филькенштейн [и др.] / под ред. М.И. Филькенштейна. – М.: Радио и связь. 1994. – 216 с.
22. Введение в георадиолокацию: учеб. пособие / М.Л. Владов, А.В. Старовойтов. – М.: Издательство МГУ, 2004. – 153 с.
23. **Кренке, А.Н.** Геоинформационные технологии в исследованиях сопряженности полей параметров снежного покрова, климата и гидрологических процессов / А.Н. Кренке [и др.] // Мат. гляциологич. исслед. 2000. Вып. 88. С. 60.
24. Matzler C., Huppi R. Review of signature studies for microwave remote sensing of snowpacks // Advances Space Research. 1989. V. 9. N. 1. P. 253.
25. **Боярский, Д.А.** Микроволновая радиометрия снежного покрова и мерзлой почвы на частоте 3,95 ГГц // Изв. вузов. Радиофизика. 1997. Т. XL. № 8. С. 1050.
26. **Stogrin, A.** Study of the Microwave Brightness Temperature of Snow from the Point of View of Strong Fluctuation Theory // IEEE Trans. Geosciences Remote Sensing. 1986. V. GE24. N. 2. P. 220.
27. **Tsang, L.** Theory and experiment for passive microwave remote sensing of snowpacks / L. Tsang [et al.] // J. Geophysical Research. 1979. V. 84. N. B10. P. 5669.
28. **Tiuri, M.E.** Theoretical and experimental studies of microwave radiation from a natural snow field / M.E. Tiuri, H.Schultz // NASA Workshop on the Microwave Remote Sensing of Snowpack Prop. Ft. Collins. Colorado, 20–22 May. 1980. P. 225.

29. **Davis, R.E.** Snow property measurement correlative to microwave emission at 35 GHz / R.E. Davis, J. Dozier, A.T.C. Chang // IEEE Trans. Geosciences Remote Sensing. 1987. V. 25. N. 6. P. 751.
30. Миллиметровая радиолокация: методы обнаружения и наведения в условиях естественных и организованных помех / А.Б. Борзов [и др.]. – М.: Радиотехника, 2010. – 376 с.
31. **Дмитриев, В.В.** Расчет излучательной способности снежного покрова квазистатическим методом и методом уравнения переноса излучения / В.В. Дмитриев [и др.] // Изв. вузов. Радиофизика. 1990. Т. 33. № 9. С. 1020.
32. **Frolov, A.D.** On dielectric properties of dry and wet snow / A.D.Frolov, Y.Y. Macheret // Hydrological Processes. 1999. № 13. P. 1755–1760.
33. Hallikainen, M., Ulaby, F.T., and Abderazik, M. (1982) Measurements of the dielectric properties of snow in the 4-18 GHz. European Microwave Conference. Helsinki Finland, 151-156.
34. **Looyenga, H.** Dielectric constant of heterogeneous mixture // Physica. 1965. № 31. P. 401–406.
35. **Polder, D.** The effective permeability of mixtures of solids / D. Polder, J.H. Van Santen // Physica. 1946. № 12. P. 257–271.
36. **Sihvola, H.** Effective permittivity of dielectric mixtures / H. Sihvola, J. Kong // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1988. № 26(4). P. 420–429.
37. D.A.G. Bruggeman. Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen/Ann.Phys. (Leipzig) 24. 1935. P. 636–679.
38. J.C.M. Garnett. Colours in metal glasses and in metallic films // Phil.Trans. R. Soc. Lond. 203. 1904. P. 385–420.
39. **Tiuri, M.E.** The complex dielectric constant of snow at microwave frequencies / M.E. Tiuri // IEEE J. Oceanic Eng., OE-9. 1984. P. 377–382.
40. **Wiesmann, A.** and Mätzler, C. Microwave emission model of layered snowpacks. Remote Sensing of Environment. 1999. 70(3), 307-316.
41. **Mätzler, C.** Microwave permittivity of dry snow // IEEE Transactions Geosci. and Rem. Sens. 1996. V. 34. No. 2. P. 573–581.
42. **Cumming, W. A.** (1952). The dielectric properties of ice and snow at 3.2 centimeters // Applied Physics, 23(7), 768-73.
43. **Wiesmann, A.** Microwave Emission Model of Layered Snowpacks / A. Wiesmann, C. Mätzler // Research Report, Microwave Dept., Institute of Applied Physics, University of Bern. 1998. No. 98-2.

Дата поступления  
в редакцию 10.02.2014

**V.A. Uzlov, G.I. Shishkov, V.V. Sherbakov**

## THE BASIC PHYSICAL PARAMETERS OF THE SNOW COVER

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose** The knowledge physical parameter snow allows to forecast the development an snow-water situations, condition and estimation to avalanche danger, condition snow as road.

**Design/methodology/approach** The brought results experiment studies characteristic snow and teoretic researches dielectric to permeability of the snow on base of the presentation of the snow as geterogeneous mixture.

**Findings** The brought review article published domestic and foreign author on questions of the advantages snow cover and creation his mathematical models, linking such his parameters as density and moisture with complex dielectric permeability of the snow.

**Research limitations/implications** The brought formulas for диэлектрической permeability snow can not take into account all possible conditions of the snow. The Snow this natural mineral formation, differring from the other mineral that that his existence runs on triple point of water so processes of his formation contains the uncertainty, but change occur vastly quicker, than beside other mineralov.

**Originality/value** They are brought empirical formulas involving complex dielectric permeability with density and moisture of the snow working at frequency from 0,1 MHZ before 18 GHZ.

**Keywords:** snow cover, density snow, moisture snow, dielectric permeability snow.

## НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 629.113

И.Е. Анучин, В.В. Беляков, В.И. Егоров

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАСШТАБНЫХ МАКЕТОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В статье представлены результаты экспериментальных исследований аэродинамических свойств легкового автомобиля, выполненные в аэродинамической трубе НГТУ с использованием масштабных макетов. Представлен сравнительный анализ аэродинамических характеристик разных типов кузовов автомобилей.

*Ключевые слова:* аэродинамическая труба, макет, эксперимент, коэффициент лобового сопротивления.

Экспериментальные исследования масштабной модели или полноразмерного автомобиля являются важным этапом оценки аэродинамических характеристик транспортного средства. Известно, что при проектировании автомобиля инженеры значительное внимание уделяют аэродинамическим показателям модели, влияющим на топливную экономичность и курсовую устойчивость [1].

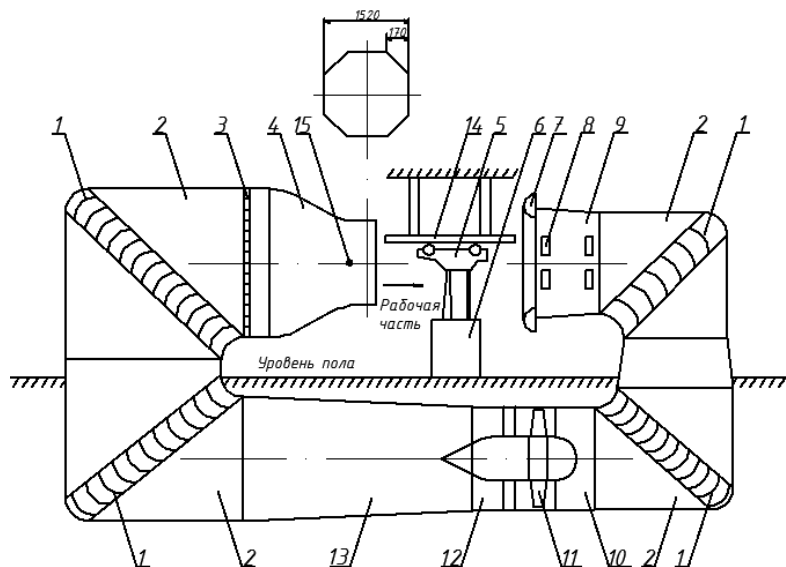
Эксперимент в аэродинамической трубе позволяет получить практические характеристики разрабатываемой модели автомобиля и сравнить их с расчетными данными, а также дает возможность визуализации потока воздуха, который обтекает кузов. По полученным значениям и характеру обтекания кузова можно сделать выводы о совершенстве предложенной конструкции, и при необходимости внести изменения в проектируемую модель.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований, полученные в аэродинамической трубе (далее АТ) кафедры «Кораблестроение и авиационная техника». Это АТ замкнутого типа с открытой рабочей частью (рис. 1). Максимальная скорость потока при испытаниях достигает 34,5 м/с. Длина рабочей части 1 м. Площадь сопла 0,54 м<sup>2</sup> [2, 3].

С учетом размеров рабочей части АТ были разработаны масштабные модели автомобилей с размерами 0,45 x 0,2 x 0,17 м, состоящие из трех различных передних частей и трех задних (седан, хетчбек, универсал). Таким образом, меняя передние и задние части можно получить девять различных моделей автомобиля (рис. 2). Модели были изготовлены из вспененного пенополиуретана Sterofoam 500 (обладает необходимой прочностью и массой) на фрезерном комплексе с ЧПУ (рис. 3).

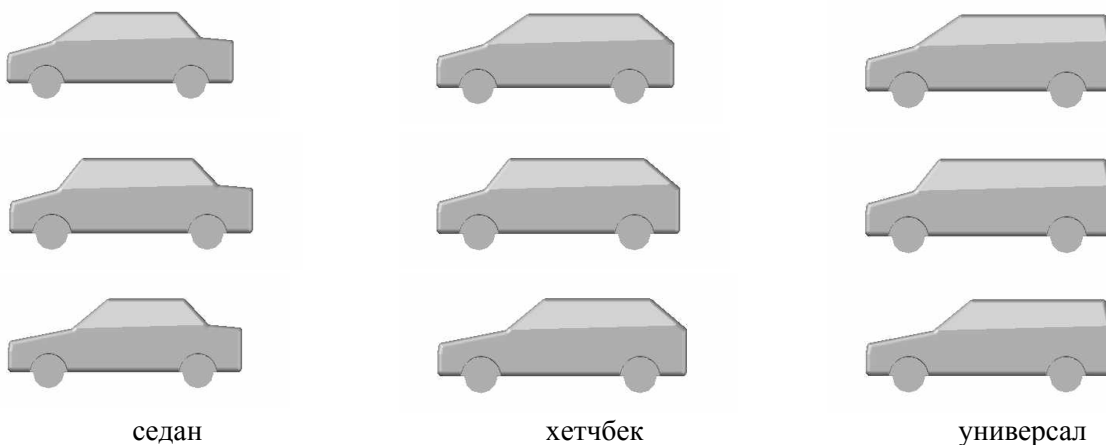
После обработки на станке с ЧПУ на моделях остались мелкие неровности в виде борозд от прохода фрезы. Эти неровности могли негативным образом сказаться на результатах измерений в аэродинамической трубе. Поэтому для наиболее точного соответствия трехмерного макета реальной полномасштабной модели автомобиля было необходимо произвести дальнейшую обработку внешней поверхности. Производилась обработка поверхности шкуркой, далее для выравнивания наносилась шпатлевка и производилась шлифовка.

В итоге была получена поверхность моделей с минимальной шероховатостью, допустимой для эксперимента. Для придания более эстетичного вида моделям они были покрашены водоэмульсионной краской, что также положительно сказалось на уменьшении шероховатости внешней поверхности.

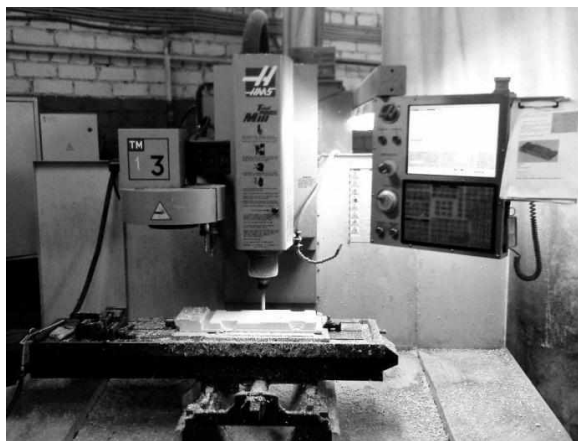


**Рис. 1. Схема аэродинамической трубы НГТУ:**

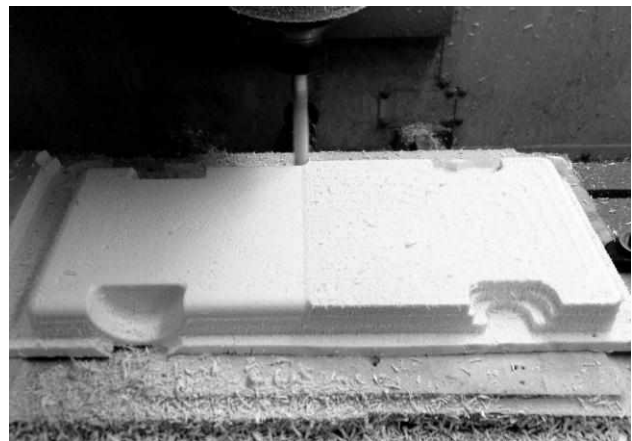
1 – направляющие лопатки; 2 – поворотный колена; 3 – спрямляющая решетка; 4 – сопло;  
 5 – исследуемая модель автомобиля; 6 – аэродинамические весы; 7 – улавливающая воронка;  
 8 – отверстия для выхода избыточного воздуха; 9 – коллектор; 10 – входной переходник;  
 11 – осевой вентилятор; 12 – выходной переходник; 13 – обратный канал; 14 – металлическая плита;  
 15 – насадка Пито-Прандтля



**Рис. 2. Модели автомобилей**



а)



б)

**Рис. 3. Создание масштабных макетов:**

а – обработка заготовки модели на фрезерном комплексе с ЧПУ; б – чистовая обработка

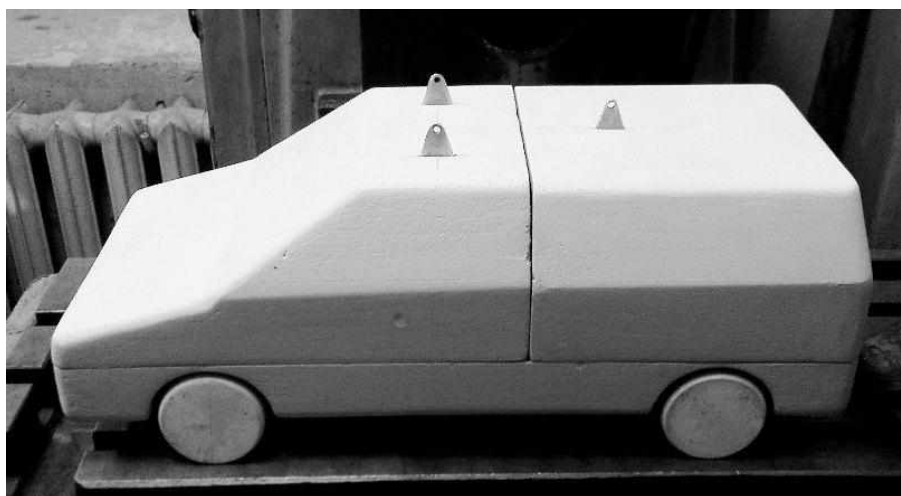


Для установки макета автомобиля на аэродинамических весах из листа алюминия толщиной 2 мм были изготовлены специальные элементы крепления (рис. 4).

Перед проведением экспериментов была проведена тарировка показаний микроамперметров в следующей последовательности:

- установка модели на аэродинамические весы;
- нагружение модели известной (эталонной) массой и запись показаний микроамперметров;
- построение графиков и определение градуировочных коэффициентов.

Тарировка необходима для вычисления градуировочных коэффициентов, позволяющих перевести показания микроамперметров в силы, возникающие при проведении эксперимента. При проведении исследований модели автомобилей устанавливались в положении колесами вверх. Это было необходимо, для установки алюминиевой плиты, имитирующей дорожное полотно (рис. 5).



**Рис. 4. Модель автомобиля с установленными креплениями**



**Рис. 5. Модель (макет) автомобиля в рабочей зоне**

Испытания проводились при следующих характеристиках воздуха в трубе и окружающей среде:

- давление  $P = 752 \text{ мм.рт.ст} = 100,24 \text{ кПа}$ ;
- температура  $t = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- плотность  $\rho = 1,18 \text{ кг/м}^3$ ;
- вязкость  $\nu = 1,62 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ;
- показание чашечного манометра  $h = 100 \text{ мм}$ ;
- скоростной напор  $q = 5h = 500 \text{ Па}$ ;
- скорость потока  $V = 28,8 \text{ м/с}$ .

Получены следующие градуировочные коэффициенты:

$K_x = 0,1332 \text{ Н/дел}$ ,  $K_y = 0,7614 \text{ Н/дел}$ ,  $K_M = 0,2538 \text{ Н/дел}$ .

Сопротивление подвески составило:  $X_{\text{подв}} = 16 \text{ дел}$ ;  $R_{\text{подв}} = K_x \cdot X_{\text{подв}} = 2,1313 \text{ Н}$ .

Результаты экспериментальных исследований сведены в табл.1.

Таблица 1

## Результаты обработки экспериментальных данных

|                                          | Седан                                                                               | Хетчбек                                                                               | Универсал                                                                             |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Передняя часть №1                        |    |    |    |
| Коэффициент лобового сопротивления $C_x$ | 0,278                                                                               | 0,288                                                                                 | 0,307                                                                                 |
| Опрокидывающий момент $M$                | 1,548                                                                               | 1,523                                                                                 | 1,345                                                                                 |
| Передняя часть №2                        |  |  |  |
| Коэффициент лобового сопротивления $C_x$ | 0,326                                                                               | 0,326                                                                                 | 0,326                                                                                 |
| Опрокидывающий момент $M$                | 1,726                                                                               | 1,497                                                                                 | 1,447                                                                                 |
| Передняя часть №3                        |  |  |  |
| Коэффициент лобового сопротивления $C_x$ | 0,297                                                                               | 0,297                                                                                 | 0,297                                                                                 |
| Опрокидывающий момент $M$                | 1,675                                                                               | 1,472                                                                                 | 1,396                                                                                 |

На рис. 6 показаны диаграммы, полученные на основе экспериментальных данных. По результатам анализа были выделены четыре макета, имеющие наилучшие аэродинамические характеристики (рис. 7).

Выполненные исследования являются начальным этапом расчетно-экспериментальных работ, направленных на оценку аэродинамических характеристик автомобилей по результатам компьютерного моделирования с использованием CFD программ, а также данных натурных испытаний.

Полученные результаты будут использованы в дальнейшем для отладки и обоснования правомерности расчетных пространственных моделей, описывающих аэродинамические процессы.

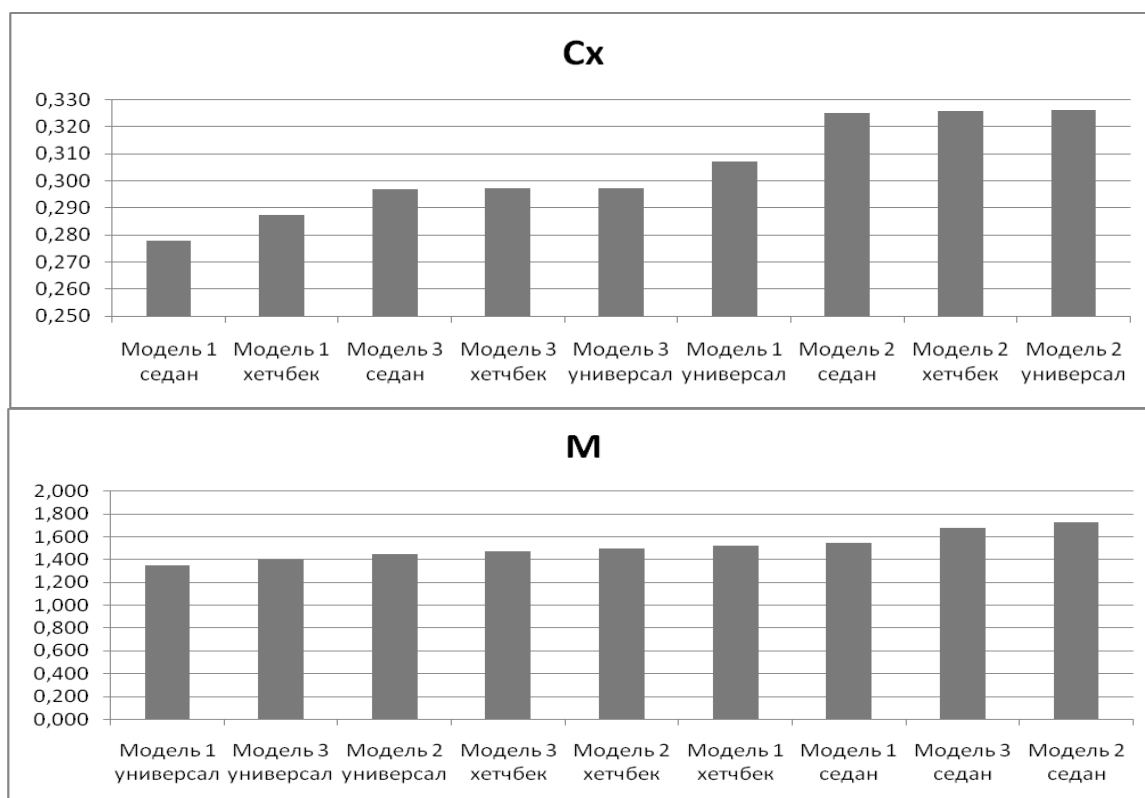


Рис. 6. Результаты экспериментальных исследований



Рис. 7. Макеты, имеющие наилучшие аэродинамические характеристики

## Библиографический список

1. **Евграфов, А.Н.** Аэродинамика автомобиля: учеб. пособие / А.Н. Евграфов. – М.: МГИУ, 2010. – 356 с.
2. **Андрянов, Л.В.** Исследование аэродинамических характеристик автомобиля в аэродинамической трубе: метод. указания к лабораторной работе по аэродинамике автомобиля для студентов автомобильных специальностей / Сост.: Л. В. Андрянов, М. Л. Мухина, В. Ф. Чеботаев; НГТУ. Н. Новгород, 2000. – 19 с.
3. **Болотин, А.А.** Исследование характеристик крыла в аэродинамической трубе: метод. указания к лабораторной работе по аэрогидромеханике для студентов кораблестроительных специальностей / Сост.: А. А. Болотин, А. Н. Попов, В. Ф. Чеботаев; НГТУ. – Н. Новгород, 1997. – 24 с.

Дата поступления  
в редакцию 05.02.2014

---

I.E. Anuchin, V.V. Belyakov, V.I. Egorov

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF AERODYNAMICS CHARACTERISTICS  
OF VEHICLES SCALE MODELS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Estimating of aerodynamics characteristics of vehicles scale models by means of wind tunnel.

**Design/methodology/approach:** The experimental study based on wind tunnel imitation of air flows that are bypassing vehicle body during high speed motion.

**Findings:** It is possible to apply the research results for estimation of aerodynamics characteristics of vehicles on the basis of test results of prorated scale models.

**Research limitations/implications:** The present study provides a starting-point for further research in the field of vehicle aerodynamics.

**Originality/value:** The main peculiarity of the study is original approach of estimating of aerodynamics characteristics of different shapes of vehicles bodies by means of experimental research in wind tunnels of vehicles scale models.

*Key words:* wind tunnel, scale model, experiment, drag coefficient.

УДК 629.113

**В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров, А.В. Федоренко****К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ  
СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СНЕЖНОГО ПОКРОВА КАК ПОЛОТНА ПУТИ  
ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева

В статье проанализирован характер изменения высоты снежного покрова в разные годы. Приведена классификация характерных зон изменения высоты снега. Проанализированы многолетние экспериментальные данные с точки зрения рассмотрения снега как полотна пути для транспортно-технологических машин. Приведены аналитические зависимости изменения высоты снега и его плотности в течение зимы. Даны зависимости для определения жесткости, связности и угла внутреннего трения снега в зависимости от продолжительности залегания снежного покрова

Выведена оригинальная зависимость влияния влажности снега на его плотность. Проанализировано влияние влажности на основные параметры снега. Сделан вывод, что в рамках предложенных зависимостей изменения высоты, плотности, жесткости, связности и угла внутреннего трения от времени изменения влажности можно не учитывать, оно не превышает 12–13%.

*Ключевые слова:* снег, статистические характеристики, глубина и плотность, транспортное снеговедение.

Для составления математических моделей распределения снежного покрова в течение зимнего сезона необходимо знать результаты многолетних наблюдений [14]. Экспериментальные данные представлены в табличном виде. Массив содержит характеристики снежного покрова по данным маршрутных снегомерных съемок [4]. Наблюдения за снежным покровом по регламенту маршрутных снегомерных съемок осуществляются через каждые десять дней в течение холодного периода (каждые пять дней в период интенсивного снеготаяния).

В результате анализа таблиц наблюдений, могут быть получены графики с различным характером изменения высоты снежного покрова. Рассмотрим характерные примеры.

На рис. 1, а цифрами показаны характерные зоны изменения высоты снега: 1 – зона интенсивного нарастания, 2 – зона медленного нарастания, 3 – зона таяния. Данный график характерен для классической зимы, присущей территории Нижегородской области и большинству регионов России с ярко выраженными временами года.

Также может быть и другой характер изменения глубины, приведенный на рис. 1, б. На нем имеется дополнительное обозначение: зона «0» – нестабильного снежного покрова в начале зимы. Такая картина типична для ранней зимы с выпадением снега в конце октября – начале ноября, хотя может наблюдаться и в других временных рамках.

На рис. 1, в также имеется дополнительное обозначение: а именно зона «4» – нестабильного снежного покрова в конце зимнего периода, характерного для затянувшейся зимы. Такие участки типичны для конца апреля, хотя может наблюдаться и в других временных рамках.

Графики, приведенные на рис. 1, а–в характерны для большинства зим, у которых можно выделить зоны «1», «2» и «3», но может быть случай, когда участок 2 неявно выражен (рис. 1, г).

Анализ графиков на рис. 1 с точки зрения рассмотрения снега как полотна пути для транспортно-технологических машин, позволяет сделать выводы.

Все графики имеют место быть, но зоны 0 и 4 можно не учитывать, так как для составления единой статистической модели по результатам многолетних наблюдений они неудобны, а поскольку высоты снега в этих зонах незначительны, то это не повлияет на прохо-

димось и подвижность [2, 3, 5-9] транспортных средств. При этом необходимо из рассмотрения убрать временной участок характерный для зон 0 и 4.

Так как сроки выпадения, таяния и время лежания снега по годам различны, а для изменения высоты характерны ее рост и уменьшение, то целесообразно статистические модели целесообразно делать отличными от принятых в метеорологии и гляциологии: делать привязку к условной продолжительности зимнего периода, а на сроки начала и конца снежного периода также дать вероятностные значения.

Необходимо отметить, что нецелесообразно учитывать данные в конце участка 3, при малых значениях (так как это не повлияет на проходимость и подвижность транспортных средств) и высокой влажности (определяется по таблицам экспериментальных данных [4, 14]).

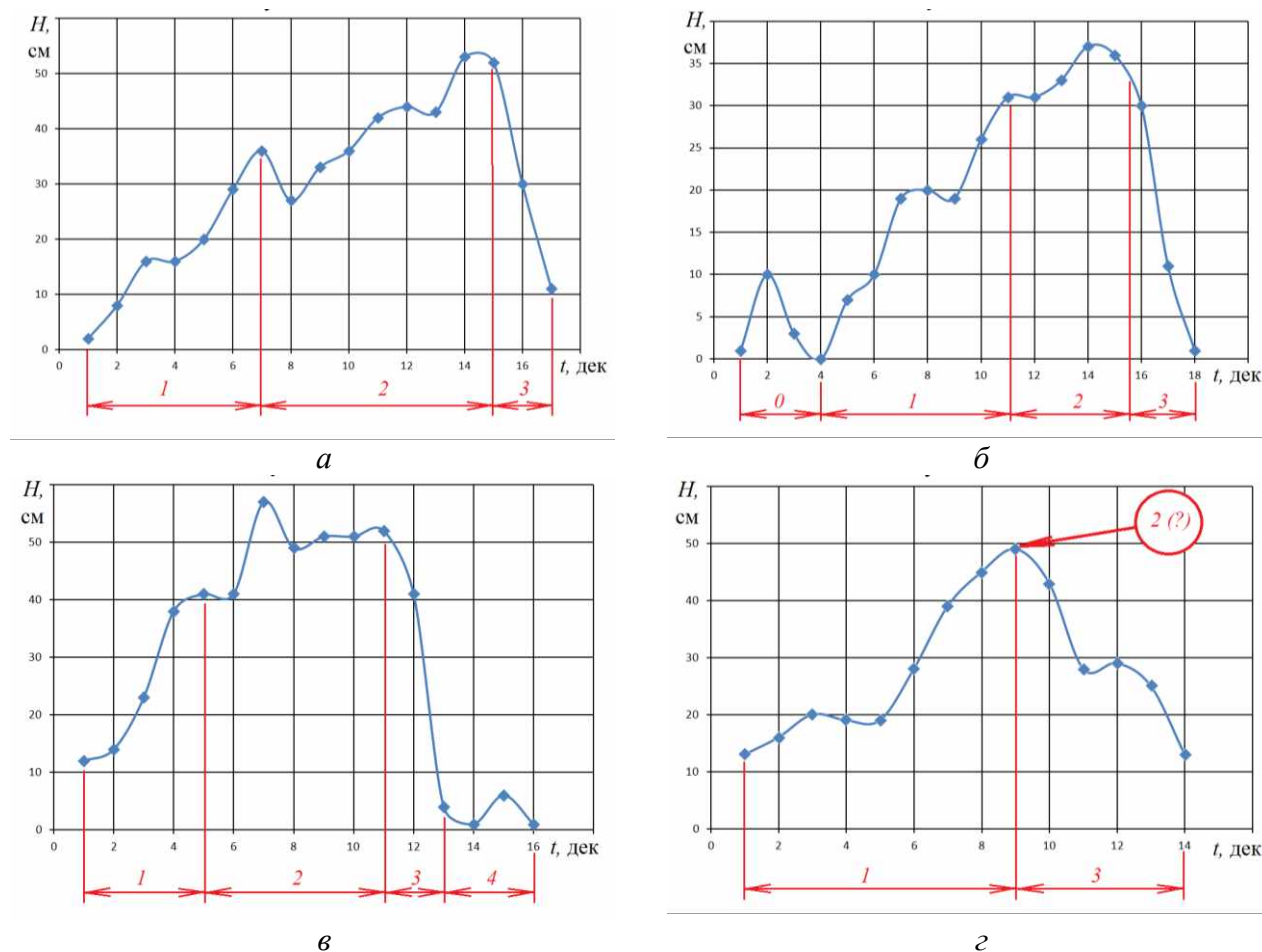


Рис. 1. Характерные примеры изменения высоты снега в течение зимнего периода

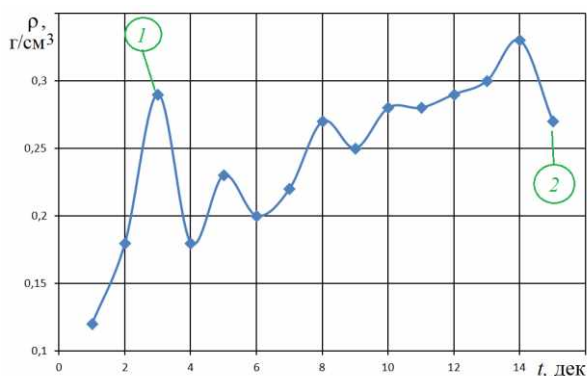


Рис. 2. Изменение плотности снега в течение зимнего периода

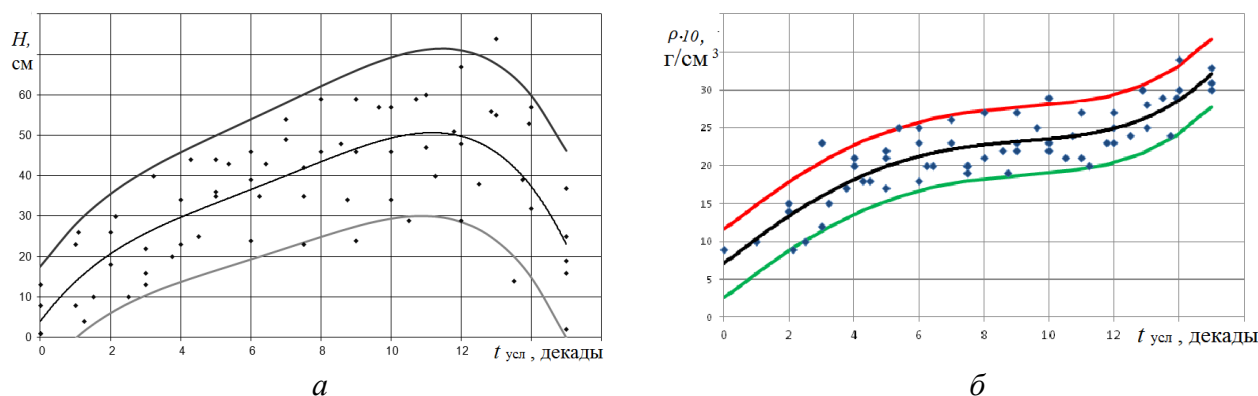
Аналогичные допущения позволяют также лучше оценить статистику по изменению плотности: всплески и падения плотности на участках 0 и 4.

На рис. 2 показано, как меняется плотность снега в течение зимнего периода, без учета допущений, которые были приняты ранее. Цифрами показыва зоны: 1 – резкое увеличение плотности, характерное при наличии зоны 0; 2 – резкое падение плотности для снега малой глубины и насыщенного водой.

Таким образом, можно получить аналитические зависимости изменения высоты снега и его плотности в течение зимы [10-13], необходимые при оценке проходимости машин:

$$H = H_{\max}^{\text{cp}} \sum_{i=0}^4 a_{Hi} t_{\text{усл}}^i, \quad \rho = \sum_{i=0}^4 b_i t_{\text{усл}}^i,$$

где  $H_{\max}^{\text{cp}}$  – средняя максимальная глубина снега за период;  $a_{Hi}$ ,  $b_i$  – эмпирические коэффициенты;  $t_{\text{усл}}$  – текущая условная продолжительность зимнего сезона с установившимся снежным покровом в декадах;  $i$  – степень аппроксимационной зависимости.



**Рис. 3. Пример изменения характеристик снежного покрова в зависимости от условной продолжительности зимнего периода, полученные по результатам многолетних наблюдений:**  
а – глубина; б – плотность

Проходимость транспортных средств определяется как конструкцией самой машины, так и характеристиками опорного основания. Необходимыми факторами достаточными для оценки проходимости и подвижности по снегу, являются его высота  $H$ , плотность  $\rho$ , жесткость  $K_{\text{ж}}$ , связность  $c$  и угол внутреннего трения  $\varphi$  [1, 5, 15].

В соответствии с [1, 5], обобщающие зависимости для определения жесткости  $K_{\text{ж}}$ , связности  $c$  и угла внутреннего трения  $\varphi$  снега в зависимости от продолжительности залегания снежного покрова будут выглядеть следующим образом:

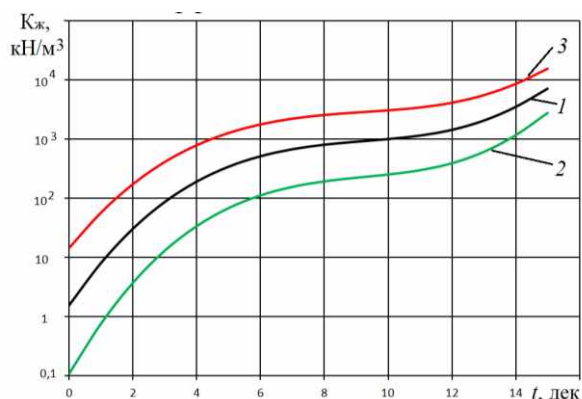
$$K_{\text{ж}}(t_{\text{усл}}) = e^{\sum_{j=0}^s [b_j \rho(t_{\text{усл}})^j]},$$

$$c(t_{\text{усл}}) = e^{\sum_{j=0}^s [c_j \rho(t_{\text{усл}})^j]},$$

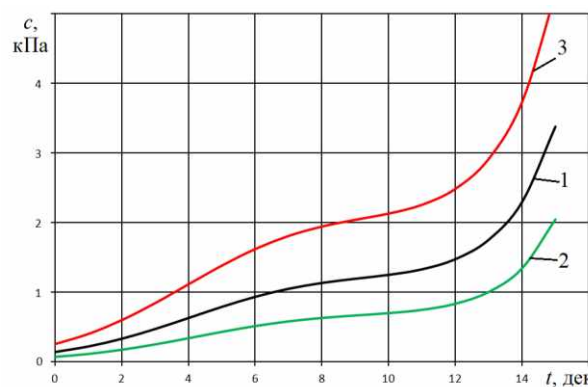
$$\varphi(t_{\text{усл}}) = \sum_{j=0}^s [d_j \rho(t_{\text{усл}})^j],$$

где  $b_j$ ,  $c_j$ ,  $d_j$  – эмпирические коэффициенты [1, 5].

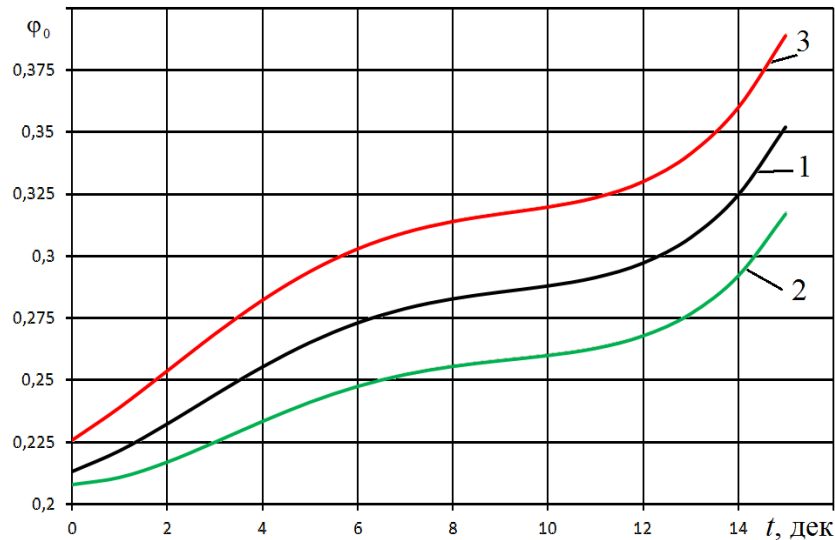
Зная, как меняется плотность снега в течение зимнего периода, покажем, как меняются жесткость, связность и угол внутреннего трения.



**Рис. 4. Зависимость изменения коэффициента жесткости снега от времени (декады)**



**Рис. 5. Зависимость изменения связности снега от времени (декады)**



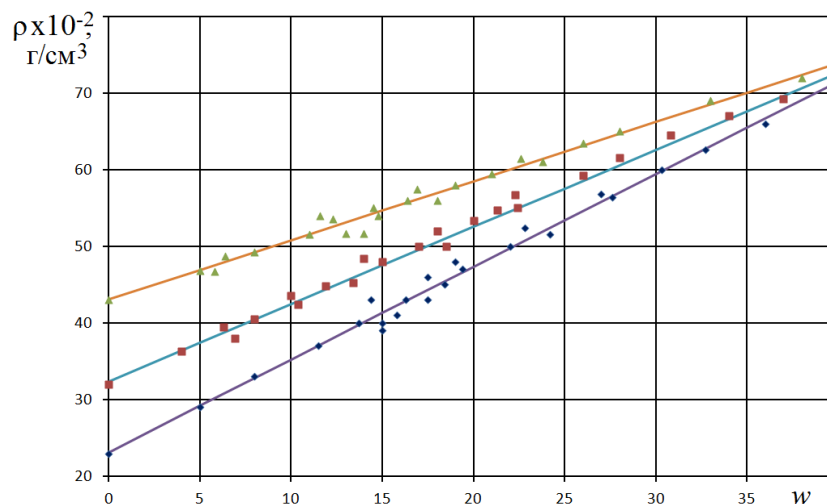
**Рис. 6. Зависимость изменения угла внутреннего трения снега от времени (декады)**

На рис. 4 – рис. 6 показаны кривые: 1, 2, 3 – значения, соответствующие 50%, 5% и 95% вероятностям возникновения.

Однако в период снеготаяния данные зависимости не в полной мере отражают действительность и требуют уточнения, так как на характеристики снега оказывает влияние вода содержащаяся в снеге. И все параметры зависят от влажности.

Как показали исследования, нарастание влажности в снеге происходит при среднесуточной положительной температуре. По графикам, отражающим статистические данные о глубине снега [10-13], началом снеготаяния является уменьшение глубины снега.

На основании [15] можно предложить зависимость изменения влажности снега в зависимости от плотности (рис. 7).



**Рис. 7. Зависимость плотности от влажности:**  
точками показаны экспериментальные данные, линиями – теоретические

Приведенные зависимости хорошо описываются эмпирическими зависимостями:

$$\begin{aligned}\rho(w) &= K_w w + \rho(0), \\ w(\rho) &= (\rho - \rho(0)) K_w^{-1}, \\ K_w &= \sum_{i=0}^1 k_{\rho i} \rho(0)^i,\end{aligned}$$



где  $\rho(w)$  – зависимость плотности от влажности ( $10^{-2}$  г/см<sup>3</sup>);  $w(\rho)$  – зависимость влажность от плотности;  $\rho(0)$  – плотность снега на момент начала таяния, при нулевой влажности ( $10^{-2}$  г/см<sup>3</sup>);  $K_w$  – коэффициент учета влажности ( $10^{-2}$  г/см<sup>3</sup>);  $k_{\rho i}$  – коэффициенты учета влияния плотности на момент начала таяния;  $k_{\rho 1} = -0,022$ ,  $k_{\rho 0} = (e - 1)$  ( $10^{-2}$  г/см<sup>3</sup>);  $w$  – влажность.

Среднее квадратичное отклонение для предложенных зависимостей составляет  $0,02$  г/см<sup>3</sup>, относительная погрешность составляет не более 6,5 %.

В соответствии с приведенными зависимостями и зависимостями из работ [10-13], проанализируем, как меняется влажность в зависимости от условной продолжительности зимнего периода.

Анализ графиков влияния влажности на плотность, а также средних значений плотности в зависимости от условной продолжительности зимнего периода [10-13] показывает, что в рамках рассматриваемого периода рост влажности снега, исходя из условия соответствия нарастания плотности по линии, характерной для определенной постоянной вероятности, составляет порядка 8%. Но, в соответствии с анализом изменения плотности (по многолетним наблюдениям), было отмечено [10], что она может лежать в разных зонах вероятностей в соседних декадах. Принимая это во внимание, рост влажности при самом интенсивном таянии составляет порядка 13%. Отметим также, что дальнейшее увеличение влажности имеет место. Но это происходит в последнюю декаду, к концу которой он полностью тает и поэтому эти данные в статистику не входят.

Данные выводы также подтверждаются опытом эксплуатации вездеходной техники и многолетними исследованиями, проведенными в «Нижегородской научной школе» и констатирующими, что одну-две последних недели лежания снега являются полностью не проходными для большинства транспортных средств. Тем более, как показывает практика работы на грунтовых дорогах, в этот период нецелесообразно использование техники, так как дороги «разбиваются» (это связано с высокой влажностью грунтового основания).

Таким образом, можно сделать допущение о том, что в рамках предлагаемой теории можно использовать формулы взаимосвязи параметров без учета влажности, так как до 12-13% это вполне допустимо [1, 5, 15].

*Исследование проведено при поддержке «грантов Президента РФ» № 14.124.13.1869-МК.*

### Библиографический список

1. **Беляков В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дисс. ... док.тех.наук: 05.05.03. – Нижний Новгород 1999. – 485 с.
2. **Беляков, В.В.** Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 156–166.
3. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №3. С. 145–174.
4. **Булыгина, О.Н.** Описание массива данных «Маршрутные снегомерные съемки» / О.Н. Булыгина, В.Н. Разуваев, Т.М. Александрова URL: <http://www.meteo.ru/special/descrip9.htm> (дата обращения 13.06.2013).
5. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения: монография / под ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛАН, 2004. – 961 с.
6. **Зезюлин, Д.В.** Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу / Д.В. Зезюлин, У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5; URL: [www.science-education.ru/105-6927](http://www.science-education.ru/105-6927) (дата обращения: 17.09.2012).
7. **Зезюлин, Д.В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.
8. **Зезюлин, Д.В.** Расчетный анализ влияния параметров движителей на показатели эффективно-

- сти колесных машин при движении по снежному полотну пути / Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 41-42.
9. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. –161 с.
  10. **Макаров, В.С.** Многоуровневая модель снега как полотна пути для транспортно-технологических машин на примере территории Российской Федерации / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков //Фундаментальные исследования. 2013. № 10. С. 270-276.
  11. **Макаров, В.С.** Статистический анализ характеристик снежного покрова / Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289> (дата обращения: 05.02.2013).
  12. **Макаров, В.С.** Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2013. №1. С. 150-157.
  13. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.В. Беляков, [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2013. №1. С. 155-160.
  14. Официальный сайт ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ВНИИГМИ-МЦД). URL: <http://www.meteo.ru/>
  15. **Панов, В.И.** Взаимодействие со снежным покровом гусеничносаночных поездов и пути повышения тяговых качеств: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. Горький, 1965. – 212 с.

*Дата поступления  
в редакцию 05.02.2014*

**V.V. Belyakov, D.V. Zezyulin, V.E. Kolotilin, V.S. Makarov, A.V. Fedorenko**

**TO THE CHOICE OF THE EXPERIMENTAL DATA FOR CREATION  
OF STATISTICAL MODELS OF SNOW COVER AS SUPPORT BASE FOR TRANSPORT  
AND TECHNOLOGICAL VEHICLES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Subject/topic/purpose:** Justification of the choice of experimental data for creation of statistics models of snow

**Methodology of work:** Analysis of the experimental data. Creation of the statistical models of snow cover.

**Results/application:** The classification of characteristic zones of the changing of snow height is presented. The analytical dependence of the change of height and density of snow during the winter is shown. Formulas for determining the stiffness, connectivity and angle of internal friction of snow versus time are given. The influence of humidity on the basic parameters of snow is analyzed.

**Findings:** It is concluded that in within the dependences of changes of height, density, stiffness, connectivity and angle of internal friction versus time the change of the humidity can be ignored, because it does not exceed 12-13%.

*Key words:* snow, statistical characteristics, height and density, vehicles.

УДК 338.246.87

В.Г. Крясков<sup>1</sup>, Т.В. Анфимова<sup>1</sup>, С.А. Гагунов<sup>2</sup>**АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ДЕМОНТАЖА ВЫШЕДШИХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ НУЖД УТИЛИЗАЦИИ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,<sup>1</sup>  
ООО «Объединенный Инженерный Центр»<sup>2</sup>

В статье приведены результаты анализа способов организации процессов демонтажа вышедших из эксплуатации транспортных средств для нужд утилизации, реализуемых как отечественными, так и зарубежными предприятиями, занимающимися первичной переработкой и подготовкой ВЭТС к измельчению и отделению материалов.

*Ключевые слова:* вышедшее из эксплуатации транспортное средство (ВЭТС), демонтаж, утилизация, извлечение материалов.

**Введение**

В современной практике утилизации вышедших из эксплуатации транспортных средств (ВЭТС) наметилось два способа достижения наивысших показателей повторного использования заложенных в конструкцию автомобилей материальных ресурсов.

Первый из них подразумевает детальную разборку автомобиля и извлечение как можно большего числа деталей с последующей их сепарацией в соответствии с материалами, из которых они изготовлены. После демонтажа остова кузова вместе с компонентами, которые снять не удалось, либо их демонтаж нецелесообразен, отправляется на шредерную установку, с помощью которой осуществляется дробление и дальнейшее разделение материалов, как правило, не более чем на три фракции: черные, цветные металлы и неметаллический остаток.

Второй способ отличен от первого тем, что в последовательность «демонтаж – шредерование» вводится так называемый этап постшредерной обработки, который заключается в применении более сложных, с технологической точки зрения методов сепарации, фильтрации, кавитации материалов шредерного остатка и позволяет значительно повысить чистоту и номенклатуру получаемого вторсырья. Данный метод более предпочтителен, поскольку не только обеспечивает максимальное извлечение материалов, но и не требует глубокой разборки автомобилей, однако заводы по постшредерной обработке пока не получили широкого распространения по причине их экономической уязвимости. К примеру, в Голландии – стране с одной из наиболее совершенных систем авторециклинга – действует лишь один завод по обработке шредерного остатка, который загружен менее чем на 40% от проектной мощности [2].

Таким образом, выполнение одной из главных задач системы авторециклинга – улучшения качества отделения материалов – все еще существенно зависит от глубины разборки ВЭТС на этапе демонтажа, а качество этого процесса определяется прежде всего свойствами конструкции, заложенными на этапе проектирования.

В данной статье приведен анализ наиболее распространенных способов организации демонтажа транспортных средств для нужд утилизации, проведенный в рамках совместной деятельности НГТУ им. Р.Е. Алексеева и ООО «Объединенного Инженерного Центра» Группы ГАЗ.

Процесс демонтажа автомобиля с целью утилизации в значительной степени определяется технологией последующей переработки, применяемой на том или ином предприятии, а также объемом поступаемых на переработку ВЭТС. Как уже было отмечено, использование технологии обработки постшредерного остатка позволяет не уделять столь особого внимания детальной разборке ВЭТС на этапе демонтажа. Появляется возможность не демонтировать многие элементы, выполненные из неметаллических материалов, при этом сохранив или даже повысив степень рециклинга автомобилей по массе.

При значительном объеме поступающих на предприятие по демонтажу ВЭТС зачастую используют технологию разборки конвейерного типа. Безусловно, это значительно ускоряет процессы подготовки и разборки, а также предполагает совершенно иное оснащение производственным оборудованием. Процесс демонтажа одного автомобиля в таком случае занимает всего несколько минут, при этом благодаря применению опрокидывающего оборудования, значительно уменьшается нагрузка на рабочих.

Недостаток данной технологии заключается в том, что организация бесперебойного функционирования предприятий требует повышенных объемов поступлений ВЭТС на переработку, что порой сложно осуществимо, особенно на обширных территориях с низкой плотностью населения.

Несмотря на то, что применяемые для демонтажа способы и оборудование порой довольно существенно отличаются между собой, в общем виде технологическая цепочка переработки и утилизации ВЭТС выглядит следующим образом (рис. 1):

- приёмка, очистка;
- осушение, демонтаж;
- шредерирование;
- сортировка и подготовка.



Рис. 1. Обобщенная схема технологического процесса утилизации ВЭТС

**Приёмка и очистка.** ВЭТС, снятое с учёта, транспортируют на площадку по утилизации. Приемка производится специальным пунктом или дилером. В ходе эксплуатации ТС подвергается разного рода загрязнениям, поэтому после пункта приема его отправляют на очистку. В зависимости от объема производства и бюджета предприятия применяют пароводоструйный, термомеханический и гидровиброабразивный методы очистки.

**Осушение и демонтаж.** Прежде всего необходимо отметить, что с точки зрения нормативных документов, в числе которых и проект Технического регламента Таможенного союза «О требованиях к колесным транспортным средствам по обеспечению их безопасной утилизации», компоненты автомобиля по пригодности к демонтажу классифицируются как обязательные для демонтажа и рекомендуемые заводом изготовителем, как правило, с целью повышения степени повторного использования (рециклинга) [3].

Итак, после подготовки к демонтажу в первую очередь производят осушение ВЭТС. Это предполагает слив абсолютно всех эксплуатационных жидкостей (моторного, трансмис-

сионного масел, а также масел гидроприводов, охлаждающей, тормозной, амортизационной, омывающей жидкостей, топлива, хладагента системы кондиционирования и т.д.), которые относятся к обязательным для демонтажа компонентам. В зависимости от оснащенности предприятия оборудованием, вакуумное оборудование может быть специализированным (для каждого вида жидкости) либо объединено в один общий стенд с наличием отдельных емкостей под различные жидкости. После осушения, извлекаются остальные обязательные для демонтажа компоненты, которыми, согласно Директиве 2000/53/ЕС, являются [1]:

- АКБ;
- газо-баллонное оборудование;
- колеса, шины (в том числе запасное колесо);
- все фильтрующие элементы;
- системы нейтрализации отработавших газов;
- топливные баки;
- потенциально взрывчатые компоненты (например, пиропатроны систем пассивной безопасности);
- огнетушители;
- стекла;
- компоненты, содержащие регламентированные вредные вещества (РВВ);
- компоненты, рекомендованные для демонтажа производителем (на усмотрение разборщика).

Подрыв пиропатронов подушек безопасности производится на специальных стендах с помощью пульта внешнего управления, соединенного с бортовым компьютером транспортного средства.

Каждое транспортное средство имеет свои особенности конструкции и различную комплектацию, поэтому разборка происходит по индивидуальным руководствам по демонтажу для нужд утилизации, в которых содержится список узлов подлежащих демонтажу с описанием последовательности, инструмента и комментариев по разборке. Данные руководства в обязательном порядке (согласно нормативным документам, в том числе упомянутому ранее Техническому регламенту Таможенного союза) предоставляются автопроизводителями предприятиям, занимающимся демонтажем ВЭТС.

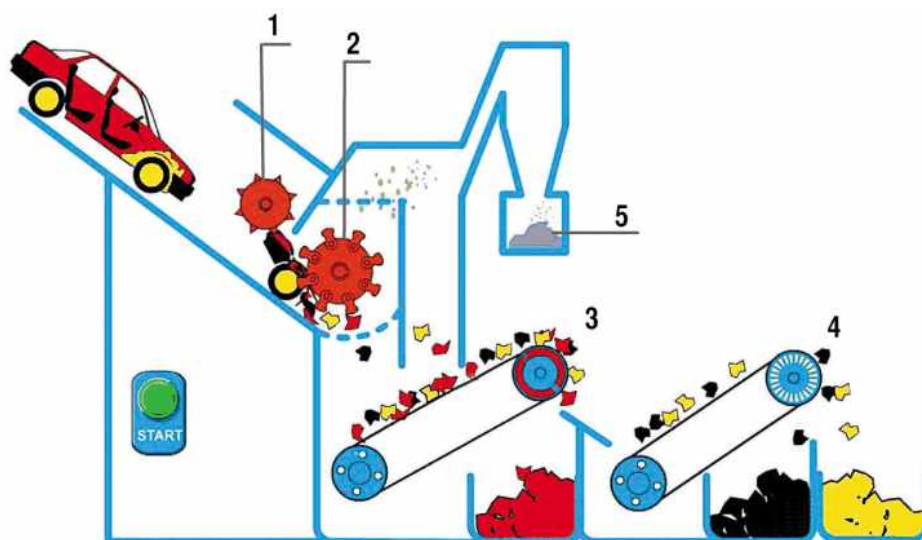
В качестве инструмента для откручивания различных видов болтовых соединений применяют специальные гаечные ключи либо пневматические гайковерты. При выполнении работ по демонтажу также зачастую применяют различные стенды и приспособления, на которых крепят агрегаты и узлы автомобиля. Универсальные стенды позволяют легко установить любой двигатель, КПП, мост или другой узел в удобное для проведения работ положение.

Зачастую при разборочных работах ТС требуется специальный инструмент. К примеру, для извлечения клееных лобовых стекол может быть применена специальная металлическая струна со съемными рукоятками. Она просовывается в разъем между лобовым стеклом и кузовными стойками, затем с обоих концов к ней крепятся специальные рукоятки, с помощью которых рабочие, осуществляя возвратно-поступательные движения, разрезают монтажный клей лобового стекла [5, 7].

**Шредерование.** Шредер – большая молотковая дробилка, специально созданная для деформирования пластичного (нехрупкого) материала (рис. 2).

Автомобильный кузов поступает на разрыватель, где два зубчатых колеса перемалывают его на сравнительно большие части. После этого фрагменты автомобильного лома измельчаются на шредере, а на участках разделения происходит распределение потока материалов при помощи магнитной, пневматической, весовой и других видов сепарации.

Следует отметить, что автомобильный лом является довольно объемным, поэтому для сокращения энергозатрат его целесообразно подвергать предварительному прессованию.



**Рис. 2. Схематичное изображение шредерной установки:**

1 – разрыватель; 2 – шредер; 3 – участок пневматической сепарации;  
4 – участок магнитной сепарации; 5 – пылесборник

**Сортировка и подготовка.** В зависимости от сложности шредерной установки на выходе образуются три и более потоков материалов. Два из них – это цветные и черные металлы, которые отправляются на переплавку. Остальные потоки представляют собой неметаллический остаток различной чистоты и качества, зачастую требующий дальнейшей обработки, в частности, отделения нескольких видов пластика и извлечения материалов, непригодных для переработки. В большинстве случаев их подвергают захоронению либо используют в качестве наполнителя.

Далее рассмотрим некоторые не столь широко применяемые способы организации демонтажа ВЭТС на зарубежных предприятиях.

В Японии широко применяются универсальные подвижные манипуляторы (рис. 3), при помощи которых осуществляется демонтаж всех твердых частей автомобиля.



**Рис. 3. Внешний вид универсального манипулятора Kobelco, Япония**

Процесс предшредерной обработки осуществляется следующим способом: сначала автомобиль осушают (т.е. сливают все эксплуатационные жидкости), затем перемещают на участок демонтажа, где, используя насадки для манипулятора различной формы и размеров, извлекают практически все, что возможно, начиная от небольших трубопроводов и пласти-

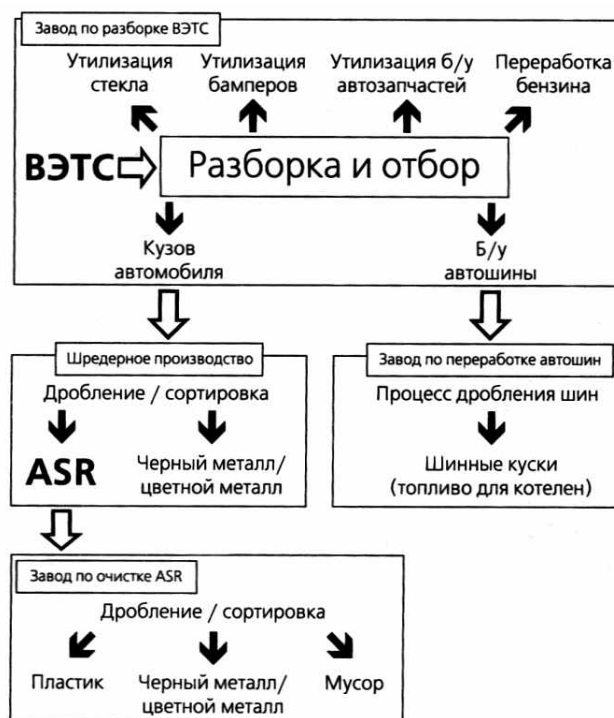


ковых накладок, заканчивая лобовым стеклом, крышей, элементами подвески, шинами и т.д. (рис. 4). При помощи подобного манипулятора автомобиль буквально расчленяют, а получившиеся обломки сортируют в зависимости от того, из какого материала они изготовлены [8, 9].



**Рис. 4. Разрывание конструктивных элементов автомобиля при помощи универсального манипулятора на предприятии в Японии**

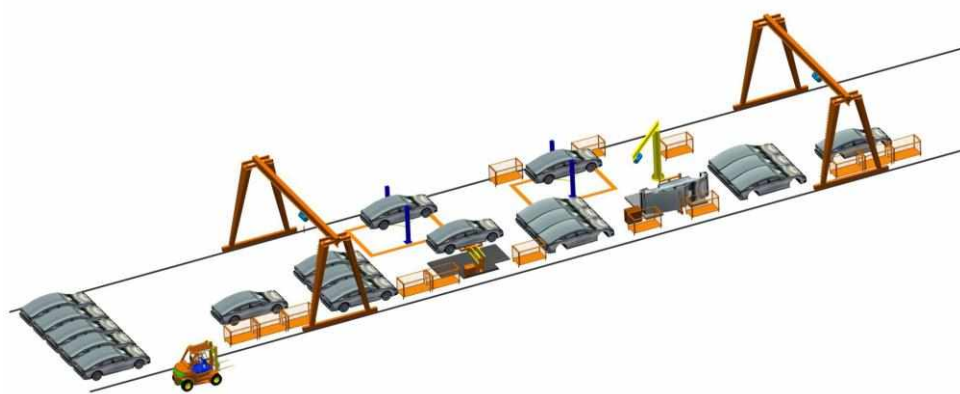
На рис. 5 схематично изображен принцип организации переработки ВЭТС на предприятиях фирмы МАТЕС (Япония). Процесс утилизации разделен на четыре производства: завод по осушению, демонтажу, отбору деталей ВЭТС и материалов для повторного использования; завод по измельчению остовов на шредере; завод по измельчению изношенных шин; завод по переработке ASR (ОШП – отходов шредерного производства) [10]. Такой комплексный подход помогает сделать данный вид деятельности экономически выгодным и экологически безопасным. Опыт фирмы показывает, что при должной организации системы сбора и утилизации отслуживших автомобилей удастся вторично переработать более 80% массы автомобиля.



**Рис. 5. Схема утилизации вышедших из эксплуатации транспортных средств в Японии**

Китайская компания VARY обеспечивает высокую эффективность разборки, экономное энергопотребление, низкий уровень загрязнения окружающей среды путём разделения процесса утилизации на четыре стадии демонтажа автомобиля [11]. Это производственная линия (рис. 6) с компактным расположением позволяет максимально экономить рабочее пространство. На первом этапе снимаются двери, капот, АКБ, подушки безопасности, стёкла, сидения, обивка пола, кондиционер, фильтр салона, проводка, стекла и другие элементы салона автомобиля.

На втором этапе с помощью пневматического пистолета снимаются колёса, а также производится осушение ВЭТС, снимаются детали из пластика. На третьем – демонтируются элементы, которые могут быть восстановлены с целью повторного использования (как отдельные компоненты, так и узлы и агрегаты в целом). На последнем, четвёртом этапе, осуществляется демонтаж остальных компонентов, как обязательных, так и рекомендованных производителем.



**Рис. 6. Схема утилизации вышедших из эксплуатации транспортных средств китайской фирмой VARY**

Рассмотрим технологии разборки ТС с целью утилизации на примере центра по демонтажу и утилизации автомобилей BMW в Германии (рис. 7) [4].



**Рис. 7. Переработка вышедших из эксплуатации транспортных средств в Германии:**  
*а* – подрыв пиропатронов на специальном стенде с помощью пульта внешнего управления;  
*б* – слив жидкостей; *в* – демонтаж

На специальном стенде с помощью пульта внешнего управления, соединенного с компьютером машины, происходит подрыв пиропатронов, связанных с подушками безопасности. С автомобилем снимают всё, что может пригодиться в дальнейшем. Следующая операция выполняется на специально изготовленном для этого стенде. Из машины выкачивают все жидкости, находящиеся в ней: бензин, масло, тосол. Бензобак пробивается пневмобуром.



Машину можно приподнять с одной стороны, чтобы горючее ушло из бака целиком. Особым ручным прессом нейтрализуются газовые амортизаторы. У некоторых автомобилей двигатель извлекается для дальнейшего использования. Остальное отправляется под пресс.

Компания Jema Associates Ltd и David Hulse Consultancy Ltd в Великобритании предлагает руководства по утилизации и демонтажу в соответствии с требованием директивы 2000/53/ЕС [6]. Процесс предусматривают наличие полигонов хранения и переработки, в которых предусматривается безопасное удаление жидкостей и возможность максимально сохранить восстанавливаемые и запасные части ВЭТС. Процесс демонтажа состоит в основном из трех этапов, где на первом проводятся подготовительные операции, такие как снятие батареи, снятие крышки топливного бака и моторного масла, колёс и шин, удаляют компоненты содержащие ртуть, чтобы слить жидкость из системы охлаждения устанавливают печку на максимум. На следующем этапе транспортное средство устанавливают на специальное подъёмное устройство, на котором производят осушение автомобиля (слив жидкостей, дегазация кондиционера, удаление катализатора, снятие сливных крышек и пластиковых пробок). На последнем этапе транспортное средство снимают со стенда, обезвреживая пиротехнические устройства.

Основываясь на изложенной информации, можно сделать выводы о том, что одним из основных принципов осуществления демонтажа вышедших из эксплуатации транспортных средств для нужд утилизации является бережное обращение с потенциально опасными для окружающей среды и здоровья человека компонентами. В связи с этим, предприятие, занимающееся разборкой ВЭТС, должно в обязательном порядке быть оснащено оборудованием по бережному обращению и хранению жидких и экологически вредных отходов.

При осуществлении демонтажа транспортных средств для нужд утилизации может быть применено стандартное оборудование и инструменты, которыми оснащены обычные центры технического обслуживания. Использование нестандартных подходов к организации процессов демонтажа ВЭТС, как правило, продиктовано повышенным объемом поступающих на предприятие—«разборщик» автомобилей.

Детальность разборки вышедших из эксплуатации транспортных средств зависит прежде всего от рентабельности и целесообразности осуществления той или иной операции. К примеру, в случае, если пластиковый бампер легко демонтировать и продать предприятиям, занимающимся переработкой пластика, то с компонентами обшивки салона нередко так поступить довольно сложно по причине их труднодоступности.

*Работа выполнена в рамках осуществления подготовки легких коммерческих автомобилей ГАЗ к выполнению сертификационных требований Европейских Директив в области утилизации.*

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках комплексного проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г. (Постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года № 218).*

#### Библиографический список

1. Directive 2000/53/EC On End-of-Life Vehicles For The Period 2002-2005. Brussels, October 2007. – 90 p.
2. <http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/study/annex3.pdf> (дата обращения 03.02.2014)
3. [http://sertimet.uran.ru/tech\\_reg](http://sertimet.uran.ru/tech_reg) (дата обращения 03.02.2014)
4. <http://vaz2101.com/showthread.php?t=57033> (дата обращения 03.02.2014)
5. <http://www.autosecret.net/avtosecret/556-remont-skolov-zamena-stekla> (дата обращения 03.02.2014)
6. <http://www.bis.gov.uk/files/file30654.pdf> (дата обращения 03.02.2014)
7. <http://www.info-autoglass.ru/info/technology/page200> (дата обращения 03.02.2014)

8. <http://www.mai.org.my/> (дата обращения 03.02.2014)
9. <http://www.mai.org.my/ver1/images/pdf/4aaefDownload/9Takahiro.pdf> (дата обращения 03.02.2014)
10. <http://www.matec-inc.co.jp/russian/elv/> (дата обращения 03.02.2014)
11. <http://www.varytech.cn/> (дата обращения 03.02.2014)

*Дата поступления  
в редакцию 04.02.2014*

**V.G. Kryaskov, T.V. Anfimova, S.A. Gagunov**

## **ANALYSIS OF METHODS OF ELV DISMANTLING PROCESS FOR THE NEEDS OF RECYCLING**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Evaluation of existing methods of ELV dismantling process in order to determine what components must be dismantled, what are the main principles of conducting an ELV disassembly, what special equipment and tools are used during this works.

**Findings:** The results of the analysis can be useful during preparing and caring on an ELV dismantling process.

**Research limitations/implications:** The research consider dismantling process of vehicles of categories M<sub>1</sub> and N<sub>1</sub> only.

**Originality/value:** The main profit of the research was used during preparing the GAZ Group light commercial vehicles for implementing the requirements on recyclability of the EU legislation.

*Key words:* end-of-life vehicles (ELV), dismantling, recycling, material separation.

УДК 629.113

Д.В. Соловьев, К.Я. Лелиовский, А.В. Герасин, А.А. Штурмин

**РАСЧЕТНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ  
ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ НА РЕЖИМЕ ХОЛОСТОГО ХОДА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В статье представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований колебаний силового агрегата с двигателем Cummins ISF2.8s4129P грузового автомобиля семейства Газель Next.

*Ключевые слова:* двигатель, силовой агрегат, колебания, вибрация, модальный анализ, NVH анализ.

При современном уровне технического развития вибрация и шум являются одними из основных показателей, характеризующих качество, надежность и конкурентоспособность продукции автомобилестроения. Вибрация оказывает вредное воздействие на здоровье людей, ведет к нарушению работы узлов и систем автомобиля, снижению их надежности и долговечности, в связи с этим разработка эффективных средств снижения вибронегативности транспортных средств является актуальной задачей, направленной на повышение их технического уровня.

Целью данных исследований, проводимых в НГТУ совместно со специалистами «Группы ГАЗ», является разработка методики комплексной оценки и анализа виброакустических параметров системы «силовой агрегат-рама-кузов» на примере семейства грузовых автомобилей Газель Next с двигателем Cummins ISF2.8s4129P для разработки конструктивных решений, направленных на уменьшение вибраций элементов конструкции и снижение уровня шума.

Силовой агрегат, установленный на упругих элементах подвески, является частью довольно сложной колебательной системы, характеризуемой большим числом параметров и взаимодействий. Задачу анализа такой системы целесообразно решать в несколько этапов, включающих как теоретические, так и экспериментальные исследования. Для создания конечно-элементной модели силового агрегата, которая будет соответствовать реальной работе физического объекта, необходимо правильно учесть основные характеристики опор двигателя и коробки передач, к которым относятся жесткости (линейные и угловые) и коэффициенты демпфирования.

На начальном этапе необходимо разработать динамическую модель, позволяющую оценить колебания силового агрегата на резинометаллических опорах, установленных на жестком основании. Для этой цели, кроме массовых и габаритных параметров самого силового агрегата, необходимо иметь характеристики упругости его опор.

Характеристики опор были получены на стенде по трем поступательным степеням свободы в декартовой системе координат (относительно кузова автомобиля) путем действия на образец статической силой, создаваемой гидравлическим цилиндром. Фрагмент испытательного стенда показан на рис. 1. При этом статическая сила, приложенная к образцу, измерялась тензометрическим датчиком, который монтировался на штоке силового цилиндра, а перемещения штока цилиндра фиксировались оптическим датчиком, принцип работы которого основан на триангуляционном методе измерения. В качестве аналого-цифрового преобразователя служило динамическое записывающее устройство - DC-204R, к которому подключались датчики силы и перемещения. Регистрируемые данные можно было просматривать в реальном времени в виде цифровых значений при помощи ПК, который был соединен через USB порт с DC-204R.

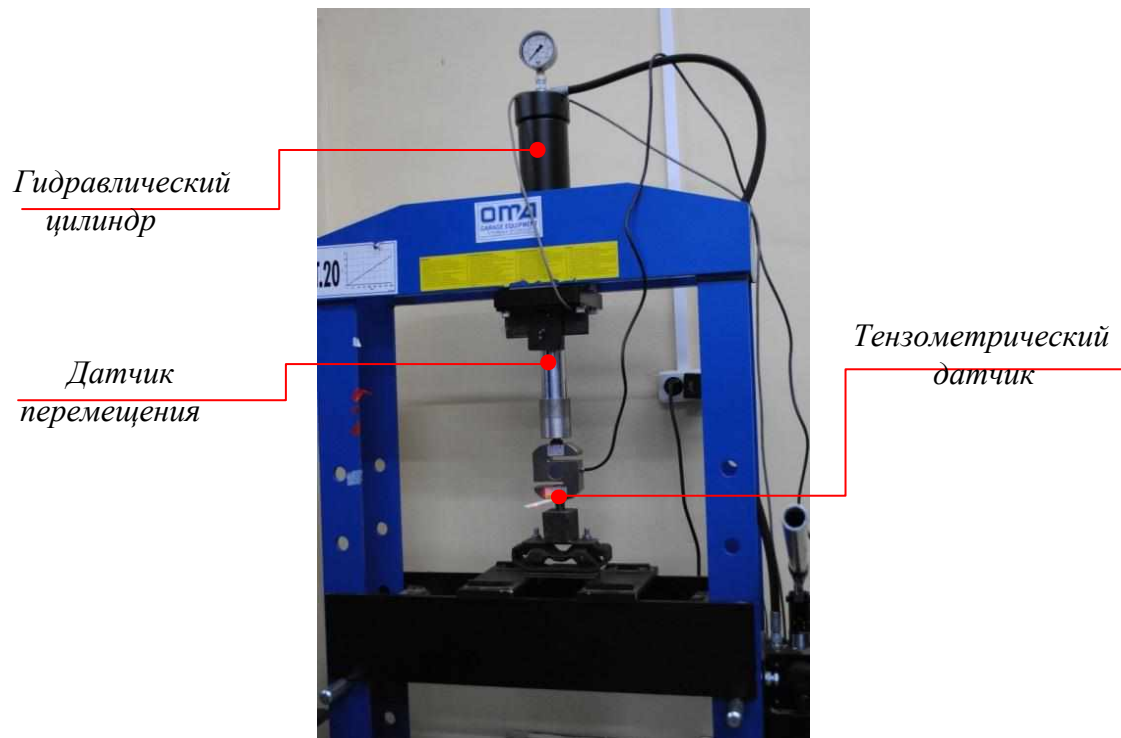


Рис. 1. Фрагмент испытательного стенда по определению статической жесткости опоры КПП в вертикальном направлении (ось Z)

На рис. 2 приведены результаты измерений в виде графика упругой характеристики опоры двигателя в направлении оси X. Измерения проводились при нагружении и разгрузке опоры. На графике экспериментальные данные режима нагрузки обозначены черными точками, а данные режима – разгрузки красной звездочкой. Аналогичные характеристики были получены при нагружении опор в направлениях координатных осей Y и Z.

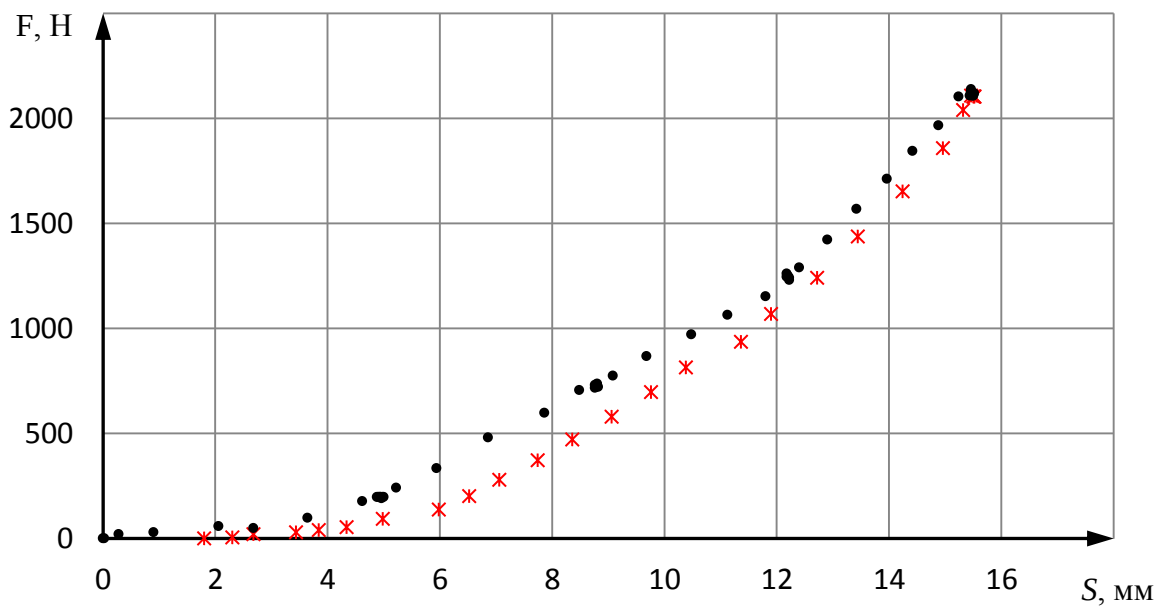


Рис. 2. Упругая характеристика опоры двигателя в направлении оси X

Для определения частот и форм собственных колебаний силового агрегата на резино-металлических опорах была разработана конечно-элементная модель, в которой при помощи

объемных НЕХ элементов представлены двигатель в сборе со сцеплением и коробкой передач. Размеры прямоугольных параллелепипедов геометрической модели были получены в результате измерения соответствующих агрегатов автомобиля Газель Next. Зная приближительные массы агрегатов и их геометрические объемы, вычислялись плотности для учета весовых характеристик динамической модели. Полученные ранее экспериментально упругие характеристики опор двигателя и коробки передач были использованы в данной динамической модели для задания жесткостей упругих элементов, имитирующих условия закрепления силового агрегата.

При анализе динамических систем одной из важных задач является определение действительных собственных значений частот и форм колебаний. Данный вид анализа не требует больших затрат машинного времени, так как решаются системы дифференциальных уравнений с нулевой правой частью, в которых не учитываются матрицы демпфирования. Результаты данного расчета позволяют оценить отклики системы на динамическое воздействие уже на начальном этапе исследования, а также являются входными данными для других видов динамического анализа.

В рамках данной работы был произведен расчет собственных значений частот и форм колебаний силового агрегата на резинOMETаллических опорах с использованием разработанной динамической конечно-элементной модели силового агрегата. При расчете имитировалось крепление опор двигателя к жесткому основанию, путем ограничения перемещений по шести степеням свободы упругих элементов. При расчете были получены шесть форм с частотами до 10 Гц. Данные формы и частоты представлены на рис. 3. Остальные собственные частоты находятся за пределами 1,9 кГц, т.е. уже в звуковом диапазоне и в данном анализе не рассматриваются.

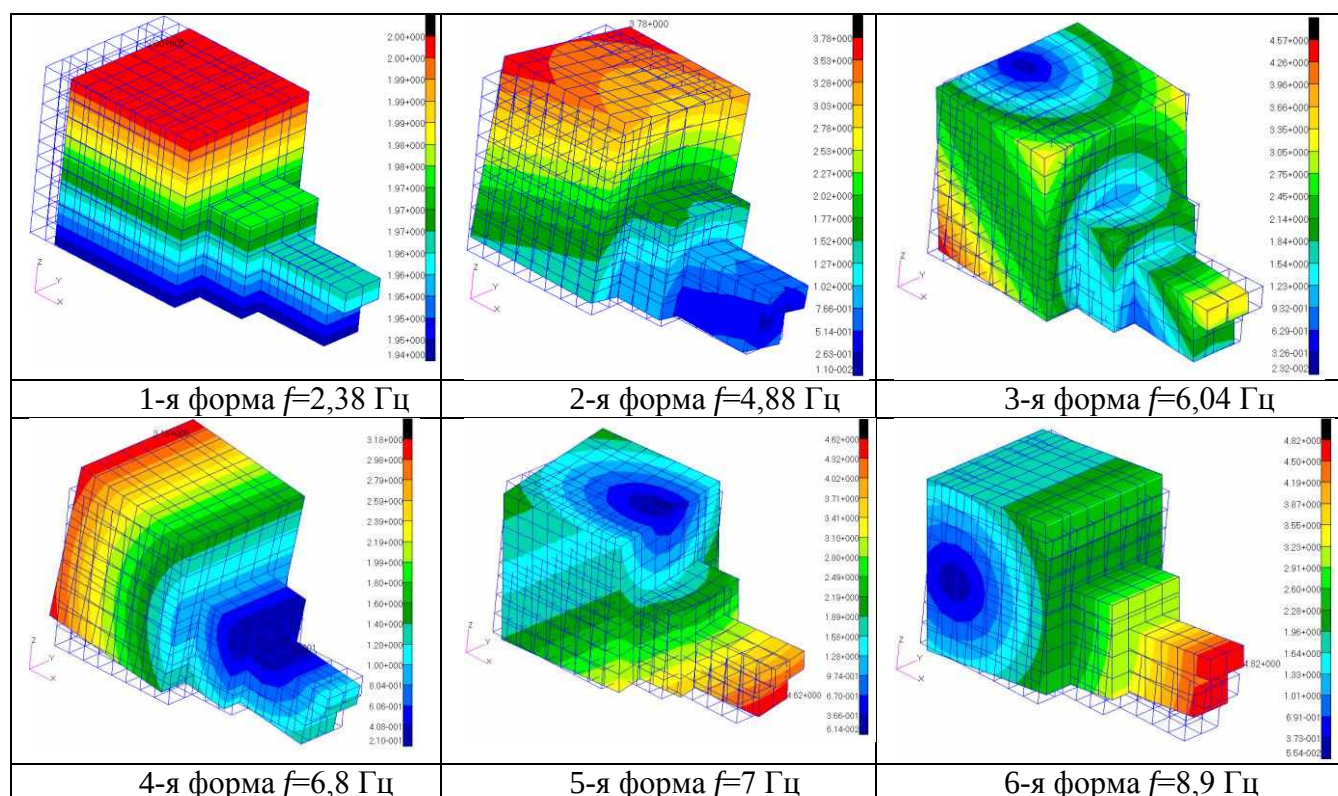


Рис. 3. Собственные частоты и формы колебаний силового агрегата

На первом этапе исследований будем рассматривать только вынужденные колебания от действия опрокидывающего момента  $M_{opr}$ , при работе двигателя на холостом ходу с минимальной частотой вращения коленчатого вала, поскольку на данном режиме наблюдаются,

как правило, колебания с достаточно большой амплитудой. Частота изменения опрокидывающего момента, как уже было указано, в два раза выше частоты вращения коленчатого вала. Для двигателя Cummins ISF2.8s4129P минимальная частота вращения коленчатого вала на холостом ходу - 750 об/мин, что составляет - 12,5 Гц, следовательно, частота основной гармоники опрокидывающего момента - 25 Гц.

Анализируя полученные результаты модального анализа, можно отметить, что формы 2, 3, 5 соответствуют направлению действия опрокидывающего момента. Максимальная частота из них соответствует форме 5 и составляет 7 Гц.

Далее был проведен гармонический анализ колебаний расчетной модели, в центре масс которой прикладывался единичный опрокидывающий момент с частотами от 0 до 30 Гц, при этом определялись перемещения узлов в зоне опоры коробки передач, в месте крепления рычага переключения передач и в точке правой передней опоры двигателя. Перемещения этих узлов показаны на графиках АЧХ рис. 4 и изображены линиями зеленого, синего и красного цветов соответственно.

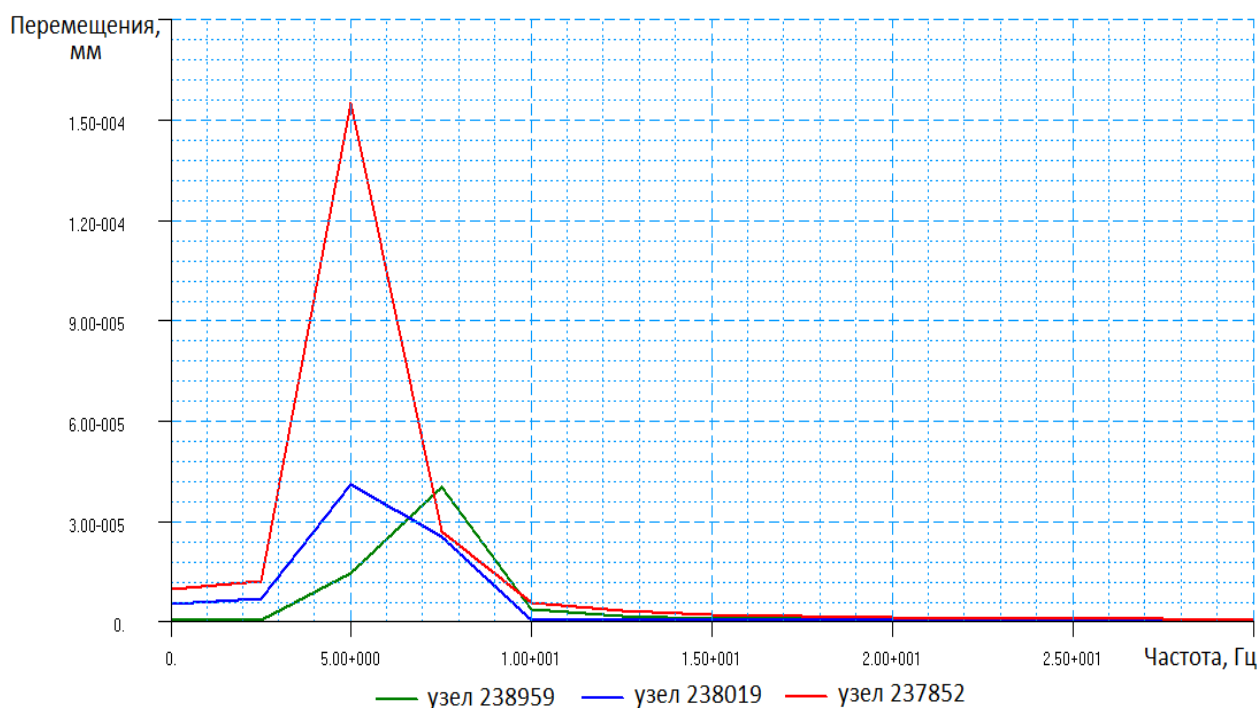


Рис. 4. АЧХ расчетной модели

Анализ построенной АЧХ показывает, что максимальные амплитуды перемещений узлов находятся в пределах от 5 до 7,5 Гц, что соответствует частотам, полученным в результате модального анализа.

Для оценки адекватности разработанной динамической модели, имитирующей колебания силового агрегата на резинометаллических опорах, необходимо экспериментально определить параметры свободных колебаний реального силового агрегата. С этой целью был поставлен эксперимент, задачей которого является определение частоты собственных колебаний силового агрегата вокруг продольной оси. Для проведения эксперимента было использовано следующее оборудование: оптический датчик перемещений, специализированный ноутбук с соответствующим программным обеспечением, блок АЦП, стойка для установки датчика, комплект соединительных кабелей и разъемов. Общий вид экспериментальной установки показан на рис. 5.

В эксперименте измерялись поперечные перемещения проушины расположенной в верхней части двигателя. Перемещения регистрировались с частотой дискретизации 20 мс при запуске, кратковременной работе в режиме холостого хода и последующей остановки



двигателя. Для оценки сходимости результатов было проведено несколько циклов измерений, при которых были получены сопоставимые результаты. Измерения проводились при прокрутке коленчатого вала двигателя стартером, запуске двигателя и его остановке. Фрагмент графика, соответствующий остановке двигателя показан на рис. 6. На графике приведены значения поперечных перемещений  $S_y$  проушины в зависимости от времени.



Рис. 5. Общий вид экспериментальной установки

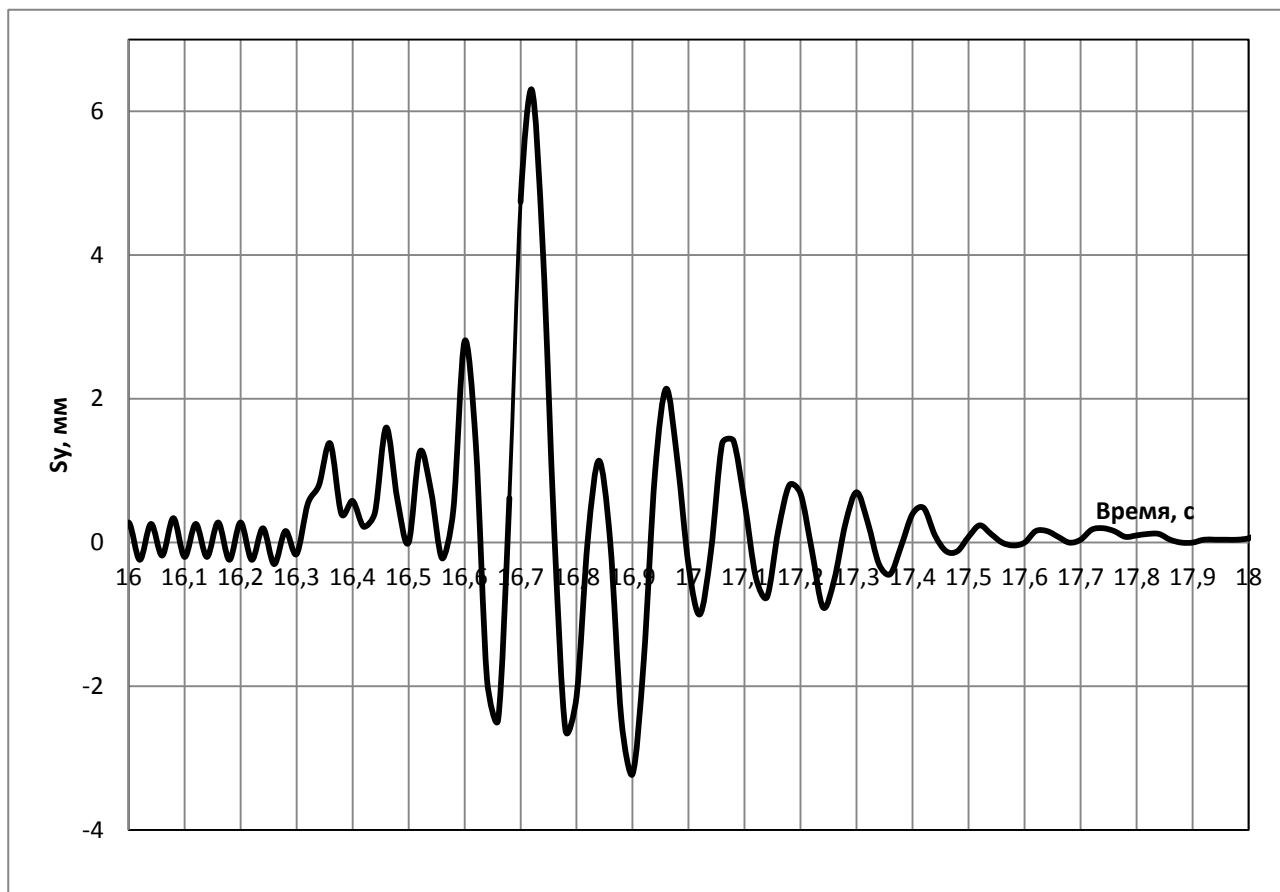


Рис. 6. Колебания силового агрегата при остановке двигателя

В ходе эксперимента было установлено, что амплитуда колебаний силового агрегата на переходных режимах значительно возрастает. Наибольшая измеренная амплитуда перемещения контролируемой точки двигателя при его запуске достигает 13 мм, на режимах прокрутки коленчатого вала стартером и остановки двигателя максимальная амплитуда колебаний составляет порядка 10 мм. Раскачка силового агрегата на этих режимах происходит в течении порядка 2 с.

По результатам эксперимента было необходимо получить частоту свободных колебаний силового агрегата на опорах вокруг продольной оси. Свободные колебания можно зарегистрировать после остановки коленчатого вала двигателя, когда колебания затухают при отсутствии силового воздействия. На графике (рис. 6) этому соответствует временной интервал после 17 с. По графику на этом участке происходят колебания силового агрегата с частотой в пределах 8 Гц, что соответствует резонансным частотам на графике АЧХ представленной на рис. 4. По результатам модального анализа были получены сходные формы колебаний с частотами 5-7 Гц.

Сопоставимость результатов расчета и полученных экспериментальных данных по частотам свободных колебаний подтверждает адекватность разработанной расчетной модели, что позволяет использовать данную модель силового агрегата с опорами в составе более сложных колебательных систем, учитывающих влияние рамы и кузова.

*Исследования выполнены в НГТУ при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта по договору № 02.G25.31.0006 от 12.02.2013 г.*

#### Библиографический список

1. Колебания силового агрегата автомобиля / В.Е. Тольский [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976.
2. **Тольский, В.Е.** Виброакустика автомобиля / В.Е. Тольский. – М.: Машиностроение, 1988.
3. Колебания автомобиля / Я.М. Певзнер [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979.
4. Вибрации в технике: справочник / под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1981. Т. 6. Двигатели внутреннего сгорания. Динамика и конструирование / В.Н. Луканин [и др.]. – М.: Высш. шк., 1995.
5. **Ляпунов, В.Т.** Резиновые виброизоляторы / В.Т. Ляпунов, Э.Э. Лавендел, С.А. Шляпочников. – Д.: Судостроение, 1988.
6. **Аббакумов, Е.И.** Повышение эффективности виброзащиты транспортных средств на основе гидравлических виброопор: дисс. ... канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 2001.

*Дата поступления  
в редакцию 04.02.2014*

**D.V. Solovyov<sup>1</sup>, K.Y. Leliovsky<sup>1</sup>, A.V. Gerasin<sup>1</sup>, A.A. Sturmin<sup>1</sup>**

#### ESTIMATED AND EXPERIMENTAL VIBRATION RESEARCH OF AUTOMOBILE ENGINE ON SMOOTH IDLING RATE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Estimating of power unit vibration on the basis of computer modal analysis results and its comparison with experimental data.

**Design/methodology/approach:** The simulation study based on modal analysis method using MSC.NASTRAN software and experimental measurements of power unit vibration parameters.

**Findings:** The possibility of precise engine vibration computer modeling that shows high convergence with experimental data.

**Research limitations/ implications:** The present study provides a starting-point for further research in the field of NVH vehicle analysis.

**Originality/value:** The main peculiarity of the study is original approach of NVH analysis that could have a wide practical application.

*Key words:* engine, power unit, hesitation, vibration, modal analysis, NVH analysis.



## ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ

УДК 629.5.062

В.С. Виноградов

### ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ ОБЩЕСУДОВЫХ СИСТЕМ НА СТАДИИ ИХ РАЗРАБОТКИ И ПОЛУЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ЕЁ РЕАЛИЗАЦИИ

ОАО «ЦКБ «Лазурит», г. Нижний Новгород

Рассматривается применение логико-вероятностных методов и аппарата теории Маркова в оценке надёжности общесудовых систем, описывается подход к оценке некоторых общесудовых систем, заключающийся в их совместном применении. Изложены методические основы создания системы сбора, обработки и распространения данных о надёжности общесудовых систем и оборудования в составе CALS-технологий.

*Ключевые слова:* надёжность, оценка, проектирование, общесудовые системы, CALS-технологии.

Многие современные суда и корабли оборудуются десятками общесудовых систем различных видов, призванных удовлетворять разнообразные общесудовые нужды. Надёжность общесудовых систем во многом определяет надёжность всего судна. В связи с этим, обеспечение надёжности общесудовых систем приобретает большое научное и практическое значение.

Решение этой проблемы развивается в основном по пути обеспечения долговечности трубопроводов указанных систем, а также обеспечения надёжности их основного оборудования и арматуры. В то же время число работ, в которых бы рассматривалась надёжность общесудовых систем в целом, невелико.

Уровень надёжности общесудовых систем закладывается при проектировании. При этом проведение на этапе проектирования количественной оценки надёжности систем позволяет обосновывать ее уровень и осуществлять выбор схемно-технических решений с позиций надёжности, а также обосновывать внесение в них изменений в целях изменения надёжности на стадиях их проектирования.

Ретроспективная достоверная информации о техническом состоянии оборудования рассматриваемых систем, его наработке и причинах отказов у проектанта судна имеется, но, зачастую, в недостаточном объеме. Это обстоятельство существенно снижает достоверность оценки надёжности систем как проектируемых, так и находящихся в эксплуатации судов. Получение уточнённой информации о функционировании оборудования в процессе эксплуатации головного судна или корабля проектантом для корректировки расчётов, выполненных на начальной стадии проектирования, для учёта их результатов в серийных образцах объектов затруднительно.

Практическая реализация оценки надёжности систем представляет собой задачу, требующую для своего решения анализа элементов рассматриваемых систем с позиции надёжности, выявления номенклатуры необходимых для достаточно полной оценки надёжности ее численных показателей, определения методов, применение которых в соответствии с определенными критериями позволит создать адекватную модель или модели надёжности.

Общесудовые системы представляют собой, как правило, сложные системы. Сложность общесудовых систем определяется большим количеством их элементов, сложностью связей между ними, множеством режимов функционирования, наличием возможности вос-

становления элементов, а также последствием, вызываемым необходимостью отключения части её элементов для выполнения работ по восстановлению неисправного. Их функционирование носит случайный характер. По этой причине основой математических моделей, описывающих их функционирование, может являться теория случайных процессов.

Использование вероятностного анализа имеет ряд общеизвестных преимуществ перед детерминистским, в число которых входят и те, которые делают их применение целесообразным при оценке надёжности общесудовых систем. К ним относятся возможность расчёта количественных показателей надёжности, произведение осознанного выбора схемно-технического решения из возможных и возможность обоснования изменения проекта в целях обеспечения уровня надёжности с наибольшей эффективностью.

Существует более десятка широко известных методов количественной оценки надёжности [1]. Наиболее признаны, разработаны, имеют высокую общность и способность к алгоритмизации в настоящий момент два способа математического описания функционирования сложных систем: аппарат теории марковских случайных процессов и логико-вероятностное моделирование.

Анализ данных об эксплуатации общесудовых систем позволил сделать вывод, что поток отказов и поток восстановлений общесудовых систем обладают свойствами ординарности, стационарности и отсутствия последствия, а потому могут быть представлены как простейшие (пуассоновские). Это обстоятельство делает возможным процесс эксплуатации общесудовых систем представить марковским случайным процессом с непрерывным временем и дискретным числом состояний.

Однако, вследствие громоздкости моделей, получаемых при описании надёжности систем с большим числом элементов и сложными связями, в этих случаях целесообразным становится использование логико-вероятностного моделирования [3, 6]. Делая допущение о том, что ресурсы для восстановления всех неисправных элементов не ограничены, можно использовать логико-вероятностное моделирование и для расчёта надёжности восстанавливаемых систем.

Наиболее развивающимся логико-вероятностным методом является общий логико-вероятностный метод. В нём функциональная полнота набора логических операций позволяет производить оценку надёжности немонотонных структур, а построение схем функциональной целостности (СФЦ), как правило, значительно проще, чем построение деревьев отказов, что снижает вероятность ошибки при выполнении этого этапа. Однако выполненный анализ функционирования общесудовых систем различных видов показал, что при проектировании общесудовых систем случаи, когда надёжность системы при отказе элементов можно принимать возрастающей, практически не случаются. В большинстве случаев повышение надёжности системы при отказе её элементов может говорить лишь об ошибках при её разработке.

Надёжность ряда видов систем определяется не только внутренним функционированием, но зависит и от изменения поступающих к ним извне требований. Если, в особых случаях, поток требований неординарен, то его можно считать ординарным, а неординарность учитывать через интенсивность ординарного потока требований, характеризующейся интенсивностью поступления неординарного потока требований и математического ожидания числа требований, поступивших одновременно в неординарном потоке. Расчёт показателей надёжности таких систем возможен с использованием аппарата теории марковских случайных процессов [2].

Анализ общесудовых систем четырёх проектов судов и кораблей разного водоизмещения и назначения, процессов их функционирования позволил отнести к таким системам следующие системы: система общесудовой гидравлики, система сжатого воздуха, противопожарные системы газо- и пенотушения, система водоотливная, система замещения, гидравлики рулевых приводов.

В целях снижения размеров модели надёжности становится целесообразным использование для описания внутреннего функционирования таких систем общего логико-вероятностного моделирования, а для учёта изменений требований к системе, если требуется, аппарата теории марковских случайных процессов. Если необходим учёт изменения внешнего

функционирования и возможно принятие соответствующих допущений, действия по моделированию и расчёту надёжности общесудовых систем сводятся к следующим этапам:

- декомпозиция оцениваемой системы на блоки;
- построение размеченного графа состояний и переходов марковских процессов;
- построение на основе графической модели функционирования системы её математической модели в виде системы дифференциальных уравнений Колмогорова;
- применение логико-вероятностного метода для расчёта показателей надёжности блоков, на которые декомпозирована оцениваемая система, без учёта изменений требований к системе извне;
- задание характеристик, определяющих вероятности нахождения системы и требований к ней во всех возможных состояниях, и интенсивностей переходов из одного состояния в другое;
- нахождение предельных вероятностей состояний системы и требований к ней её интегрирование системы;
- расчёт показателей надёжности системы с учётом изменений требований к системе извне.

Чтобы учесть такие отказы, как человеческий фактор, наличие неотбракованных элементов с производственными дефектами и т.д. для полученных значений полученных показателей надёжности необходимо ввести поправочный коэффициент  $K_n$ , определяемый по данным эксплуатации аналогичных систем.

Если показатели надёжности системы не удовлетворяют хотя бы одному из требований, необходимо внесение изменений в структуру системы, её состав или режимы работы, направленные на повышение её надёжности. Это становится возможным если определён перечень элементов или групп элементов, принятие мер по повышению надёжности которых будет наиболее эффективным для повышения надёжности всей системы. При помощи показателя положительного вклада элемента определяется возможный вклад выявленных элементов в изменение значения той целевой функции надёжности системы, значение которой не соответствует требованиям. Положительный вклад  $\alpha_i^+$  определяется при изменении значения используемого при расчёте показателя надёжности  $i$ -го элемента ( $\Pi_{ji}$ ) от текущего значения до предельно большой его величины:

$$\alpha_i^+ = \Pi_c|_{\Pi_{ji}=\max} - \Pi_c|_{\Pi_{ji}}, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

Используя такой подход, была произведена оценка надёжности системы объёмного химического пожаротушения одного из кораблей проекта с большой серийностью постройки. После определения свойств, особенностей функционирования, режимов работы рассматриваемой системы была установлена необходимость определения значения целевой функции следующего вида:

$$F = f(n, v, \lambda_1, \lambda_2, T, t), \quad (2)$$

где  $n$  – количество запросов на подачу огнегасителя;  $v$  – интенсивность поступления запросов на подачу огнегасителя;  $\lambda_1$  – интенсивность отказов в подаче огнегасителя первой установкой системы;  $\lambda_2$  – интенсивность отказов в подаче огнегасителя второй установкой системы;  $T$  – расчётный период времени;  $t$  – время от начала автономного плавания.

Эта функция имеет смысл коэффициента готовности  $K_r$ .

Составленная графическая модель функционирования системы имеет вид, показанный на рис. 1.

На рис. 1. обозначено:  $i_{0,0}$  – состояние, при котором установки пожаротушения, линии снабжения их сжатым воздухом и линии подачи огнегасителя в магистрали полностью работоспособны, а требующих применения ситуаций не возникло;

$i_{0,1}$ ,  $i_{0,2}$ ,  $i_{0,3}$  – состояния, при которых установки пожаротушения, линии снабжения их

сжатым воздухом и линии подачи огнегасителя в магистрали полностью работоспособны, потребовалась соответственно одно-, двух- или трёхкратная подача;

$i_{1.1}, i_{1.2}, i_{1.3}$  – состояния, при которых произошёл такой отказ(ы) в системе, в результате которого стала невозможна подача огнегасителя к магистралям пожаротушения от первой установки, потребовалась соответственно одно-, двух- или трёхкратная подача;

$i_{2.1}, i_{2.2}, i_{2.3}$  – состояния, при которых произошёл такой отказ(ы) в системе, в результате которого стала невозможна подача огнегасителя к магистралям пожаротушения от второй установки, потребовалась соответственно одно-, двух- или трёхкратная подача;

$i_{отк1}, i_{отк2}, i_{отк3}$  – состояния отказов системы, при которых произошли такие отказы в системе, в результате которых стала невозможна подача огнегасителя к магистралям пожаротушения от обеих установок, потребовалась одно-, двух- или трёхкратная подача.

Система дифференциальных уравнений, описывающих состояния системы и переходы между ними, имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} P'_{0.0}(t) = -vP_{0.0}(t), \\ P'_{0.1}(t) = vP_{0.0}(t) - (v + \lambda_1 + \lambda_2)P_{0.1}(t), \\ P'_{0.2}(t) = vP_{0.1}(t) - (v + \lambda_1 + \lambda_2)P_{0.2}(t), \\ P'_{0.3}(t) = vP_{0.2}(t) - (\lambda_1 + \lambda_2)P_{0.3}(t), \\ P'_{1.1}(t) = \lambda_1P_{0.1}(t) - (v + \lambda_2)P_{1.1}(t), \\ P'_{1.2}(t) = \lambda_1P_{0.2}(t) + vP_{1.1}(t) - (v + \lambda_2)P_{1.2}(t), \\ P'_{1.3}(t) = \lambda_1P_{0.3}(t) + vP_{1.2}(t) - \lambda_2P_{1.3}(t), \\ P'_{2.1}(t) = \lambda_2P_{0.1}(t) - (v + \lambda_1)P_{2.1}(t), \\ P'_{2.2}(t) = \lambda_2P_{0.2}(t) + vP_{2.1}(t) - (v + \lambda_1)P_{2.2}(t), \\ P'_{2.3}(t) = \lambda_2P_{0.3}(t) + vP_{2.2}(t) - \lambda_1P_{2.3}(t), \\ P'_{отк1}(t) = \lambda_2P_{1.1}(t) + \lambda_1P_{2.1}(t), \\ P'_{отк2}(t) = \lambda_2P_{1.2}(t) + \lambda_1P_{2.2}(t), \\ P'_{отк3}(t) = \lambda_2P_{1.3}(t) + \lambda_1P_{2.3}(t). \end{array} \right. \quad (3)$$

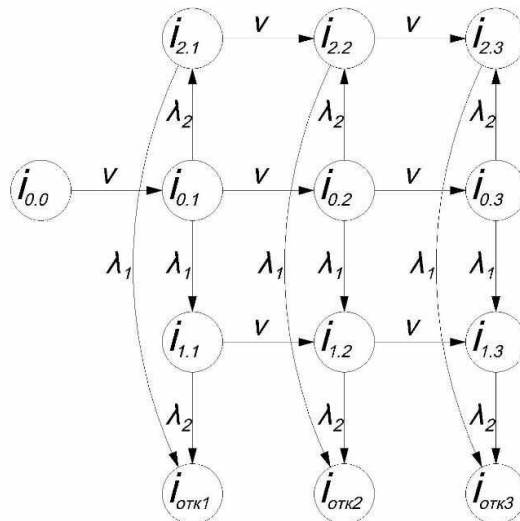


Рис. 1. Размеченный граф состояний и переходов системы пожаротушения

Созданы графические модели установок (рис. 2 и рис. 3).

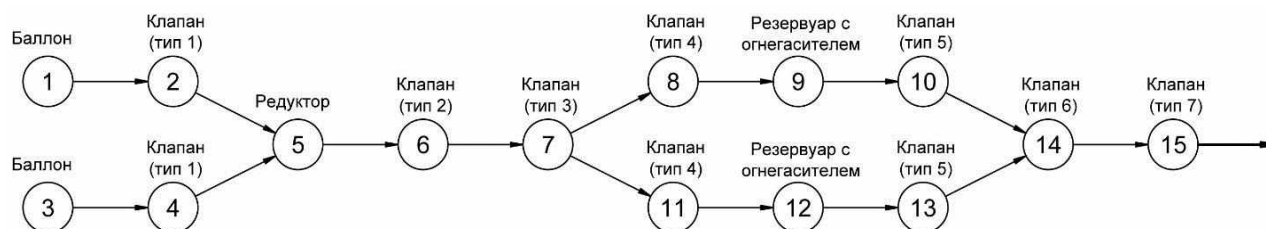


Рис. 2. СФЦ первой установки пожаротушения

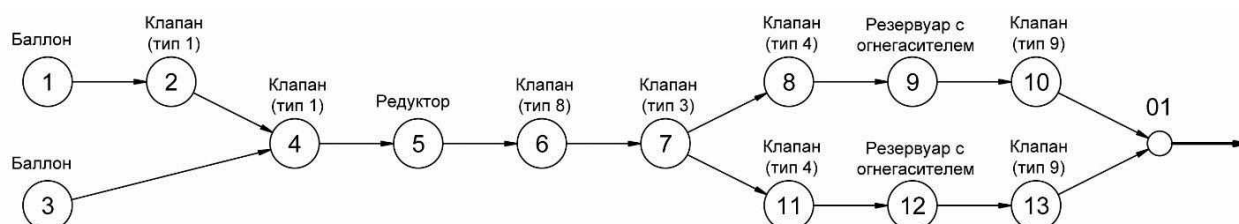


Рис. 3. СФЦ второй установки пожаротушения

Составлен многочлен вероятностной функции для первой установки, состоящий из 12 членов и имеющий следующий вид

$$\begin{aligned}
 Y_c = & \\
 = & x_1 \cdot x_2 \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} + \\
 & + x_1 \cdot x_2 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot \overline{x_{11}} + \\
 & + x_1 \cdot x_2 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot \overline{x_{12}} + \\
 & + x_1 \cdot x_2 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot \overline{x_{13}} + \\
 & + \overline{x_1} \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} + \\
 & + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} + \\
 & + \overline{x_1} \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot \overline{x_{11}} + \\
 & + \overline{x_1} \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot \overline{x_{12}} + \\
 & + \overline{x_1} \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot \overline{x_{13}} + \\
 & + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot \overline{x_{11}} + \\
 & + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot \overline{x_{12}} + \\
 & + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot \overline{x_{13}}
 \end{aligned} \tag{4}$$

Общими логическими переменными всех членов МВФ являются  $x_5, x_6, x_7, x_{14}, x_{15}$ .

Многочлен вероятностной функции для второй установки также состоит из 12 членов и имеет вид

$$\begin{aligned}
Y_c = & \\
& = x_1 \cdot x_2 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} + \\
& + x_1 \cdot x_2 \cdot x_8 \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} + \\
& + x_1 \cdot x_2 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} + \\
& + x_1 \cdot x_2 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} + \\
& + x_1 \cdot x_3 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} + \\
& + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} + \\
& + x_1 \cdot x_3 \cdot x_8 \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} + \\
& + x_1 \cdot x_3 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} + \\
& + x_1 \cdot x_3 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} + \\
& + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_8 \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} + \\
& + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13} + \\
& + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_8 \cdot x_9 \cdot x_{10} \cdot x_{11} \cdot x_{12} \cdot x_{13}
\end{aligned} \tag{5}$$

Общими логическими переменными всех членов МВФ являются  $x_4, x_5, x_6, x_7$ .

Стоит отметить, что в случае, если бы эффективность системы изменялась при частично неработоспособном состоянии в результате частичного отказа, то появилась бы необходимость определения коэффициента сохранения эффективности:

$$K_{\text{эф}} = \frac{W(P)}{W}, \tag{6}$$

где  $W(P)$  – значение показателя эффективности изделия с учётом значений соответствующих показателей надёжности;  $W$  – значение показателя эффективности изделия без учёта характеристик надёжности.

$$W(P) = \sum_{i=1}^n W_i P_i, \tag{7}$$

где  $W_i$  – эффективность системы при нахождении системы и требований к ней в  $i$ -м состоянии из  $n$  возможных;  $P_i$  – вероятность пребывания системы и требований к ней в  $i$ -м состоянии из  $n$  возможных.

Вероятностями  $P_i$  в этом случае были бы предельные вероятности состояний, полученные в результате решения (3).

Построенные диаграммы положительных вкладов элементов изображены на рис. 4 и рис. 5.

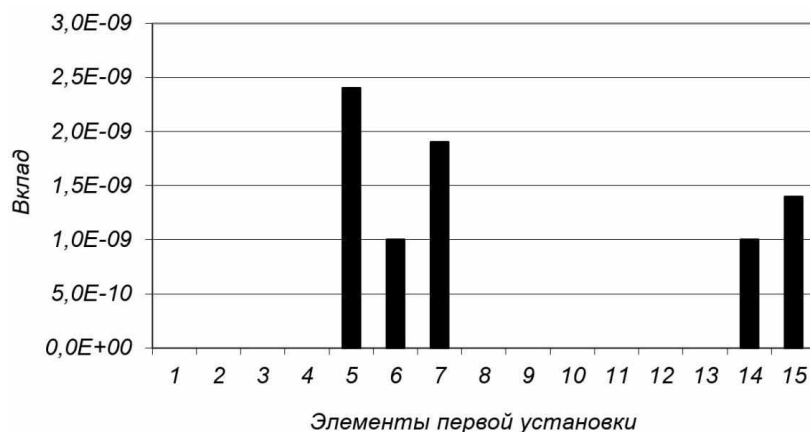
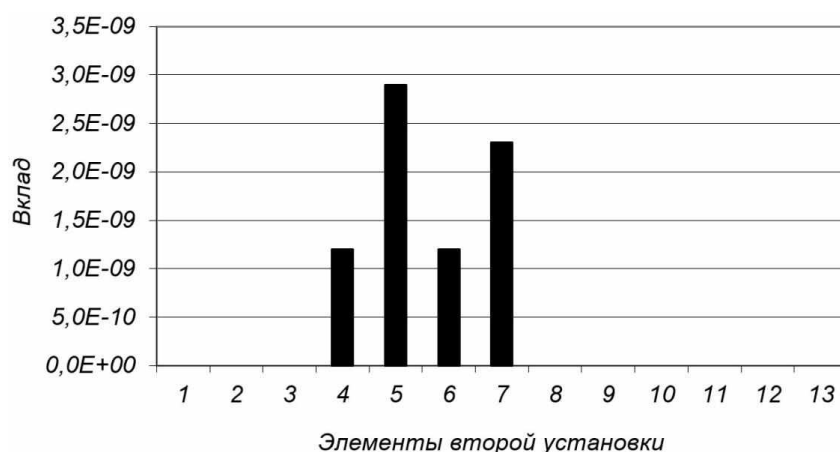


Рис. 4. Диаграмма положительных вкладов элементов первой установки



**Рис. 5. Диаграмма положительных вкладов элементов второй установки**

Как видно из построенных диаграмм, большой положительный вклад делают элементы 5, 6, 7, 14, 15 первой установки, элементы 4, 5, 6, 7 второй установки (значения вкладов  $2,4 \times 10^{-9}$ ,  $1,0 \times 10^{-9}$ ,  $1,9 \times 10^{-9}$ ,  $1,0 \times 10^{-9}$ ,  $1,4 \times 10^{-9}$ ,  $1,2 \times 10^{-9}$ ,  $2,9 \times 10^{-9}$ ,  $1,2 \times 10^{-9}$ ,  $2,3 \times 10^{-9}$  соответственно).

Таким образом, определено, что путь повышения надёжности этих элементов наиболее целесообразен с точки зрения надёжности.

С учётом изложенного подхода была разработана инженерная методика оценки надёжности общесудовых систем при проектировании. Алгоритмы общего логико-вероятностного метода были автоматизированы в программном средстве для расчёта показателей надёжности. На программное средство получено свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности о государственной регистрации программы для ЭВМ. Разработки, включающие указанные методику и программное средство, внедрены в практику проектной деятельности одной из ведущих проектных организаций отрасли отечественного судостроения – ОАО «ЦКБ «Лазурит».

Достоверность результатов такой оценки во-многом определяется достоверностью исходных данных, т.е. сведениями об эксплуатации оборудования и систем-аналогов. В существующей сложившейся практике взаимоотношений между проектантом и эксплуатационником судна при возникновении проблем, связанных с работой оборудования сторонних организаций, эксплуатационник обращается напрямую к предприятию-изготовителю этого оборудования. При этом проектант, зачастую, не ставится в курс существования проблемы, а также принимаемых и реализуемых по ней решений. Такое нарушение обратной связи приводит к отсутствию у проектанта и других заинтересованных организаций достоверной информации о состоянии находящихся в эксплуатации разработок. Для осуществления сбора информации о надёжности находящихся в эксплуатации систем, анализа, распространения информации о техническом состоянии судовых систем и их оборудования, отказах, режимам функционирования и условиям эксплуатации необходимо создание системы сбора, обработки и распространения информации. Разработка её позволит отслеживать техническое состояние эксплуатирующихся систем и оборудования, эффективно и рационально пользоваться технологиями оценки их надёжности и вырабатывать меры по её повышению.

Системная и информационная поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия осуществляется в информационной интегрированной среде. Электронная информационно-функциональная модель жизненного цикла изделия и выполняемых в нём процессов лежит в основе CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support) –технологий, нашедших уже достаточно широкое применение в нашей стране в отрасли авиастроения. Базовые принципы информационной поддержки, применимые к объектам судостроения, не отличаются от принципов, применимых к объектам авиастроения, и могут быть представлены как системная информационная поддержка жизненного цикла в интегрированной информационной среде, безбумажное представление информации и стандартизация информационного описа-

ния субъектов и объектов жизненного цикла объекта. Инструментальными средствами этой поддержки должны явиться PDM (Product Data Management) -системы. На основе PDM-систем должна осуществляться информационная поддержка управления качеством судовых систем и оборудования, процессов управления их конфигурацией, сбора и обработки данных на всех этапах их жизненного цикла [4, 5].

Информация о реальном поведении судовых систем и оборудования в ходе эксплуатации должна быть доступна разработчику и использоваться для совершенствования конструкции, технологии изготовления и контроля. Для этого на этапе эксплуатации необходимы сбор, обработка и анализ сведений о состоянии систем. В их числе должны быть длительности различных периодов эксплуатации, а также фактические показатели надёжности систем и их компонентов:

а) показатели безотказности: вероятность безотказной работы систем за заданный период времени  $P(t)$ ; интенсивность отказов и/или параметр потоков отказов систем  $\lambda(t)$ ; функции распределения наработки до отказа и между отказами  $F(t)$ ;

б) показатели ремонтпригодности: фактические затраты времени и функции распределения времени на ремонт  $F_p(t)$  и восстановление  $F_b(t)$  компонентов; фактические интервалы времени между работами по техническому обслуживанию и ремонту; фактические трудозатраты на техническое обслуживание, ремонт; фактическая численность и квалификация задействованного в работах персонала; фактические значения коэффициента готовности  $K_r(t)$ , коэффициента оперативной готовности  $K_{op}(t)$ , коэффициента технического использования  $K_{т.и}(t)$ ;

в) показатели долговечности: факты замен компонентов; фактическое потребление сменно-запасных частей, оборудования, материалов; фактический срок службы и ресурс до списания или ремонта;

г) показатели сохраняемости: фактический срок хранения.

Документирование указанных сведений должно производиться в электронных формулярах и паспортах, представляющих собой локальные базы данных стандартизированных форм. Эти базы должны быть интегрированы в единую информационную модель, обеспечивающую информационный обмен с информационной системой разработчика, построенную на стандартах серии ИСО 10303 и реализованную в форме PDM-системы. Основу формуляров и паспортов должны составлять компоненты, подлежащие техническому обслуживанию, ремонтам, заменам в процессе эксплуатации, и компоненты, отказ которых может оказать значительное воздействие на функционирование систем. Эти данные могут отображаться в PDM в виде характеристик компонентов или ассоциированных с ними файлов. Должна, также, существовать возможность извлечения и обработки необходимых данных для создания отчётов.

Сведения об эксплуатации должны проходить статистическую обработку. На основе прошедшей такую обработку информации из общей базы данных об изделии смогут выполняться расчёты и моделирование надёжности. Интеграция в библиотеку описаний компонентов изделия, являющуюся общей и неотъемлемой частью всего проекта, информации с мест эксплуатации многократно увеличит скорость получения с мест базирования флота и актуальность данных об эксплуатации систем в сравнении с традиционными методами.

Таким образом, использование логико-вероятностных методов, аппарата теории марковских случайных процессов, изложенного подхода к их применению, а также использование вычислительной техники и специализированных программных средств позволяет решать задачи оценки надёжности при разработке широкого спектра видов общесудовых систем. Создание интегрированной в CALS-технологии системы сбора, обработки и распространения информации о надёжности возможно в соответствии с описанными методическими основами её создания, что позволит многократно увеличить скорость получения с мест базирования флота и актуальность данных об эксплуатации систем в сравнении с традиционными



методами, что значительно повысит достоверность результатов оценки надёжности общесудовых систем.

### Библиографический список

1. **Гнеденко, Б. В.** Математические методы в теории надёжности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 524 с.
2. **Падерно, И. П.** Надёжность сложных судовых систем / И. П. Падерно, В. А. Усачев, Л. Ю. Худяков. – Л. : Судостроение, 1977. – 192 с.
3. **Рябинин, И. А.** Логико-вероятностные методы исследования надёжности структурно-сложных систем / И. А. Рябинин, Г. Н. Черкесов. – М. : Радио и связь, 1981. – 264 с.
4. **Бакаев, В. В.** Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия: справ.-учеб. пособие / В. В. Бакаев, Е. В. Судов, В. А. Гомозов и др. / под ред. В.В. Бакаева. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 624 с.
5. **Рудницкий, В. И.** Использование информационных технологий при управлении надёжностью изделий для повышения их конкурентноспособности / В. И. Рудницкий, В. С. Виноградов // Стратегия антикризисного управления экономическим развитием Российской Федерации: сб. ст. – Пенза, 2009. С. 64-67.
6. **Рудницкий, А. В.** Обеспечение надёжности судовых систем и оборудования на этапах проектирования и эксплуатации с применением информационных технологий / А. В. Рудницкий, В. С. Виноградов // Морской вестник. 2012. № 3. С. 45-49.

*Дата поступления  
в редакцию 03.02.2014*

**V.S. Vinogradov**

### VALUATION OF RELIABILITY GENERAL-PURPOSE MARINE SYSTEMS AND OBTAINING THE INPUT DATA FOR ITS REALIZATION

Lazurit CDB OJSC, Nizhny Novgorod

**Purpose:** Solving the problem of reliability evaluation on phase of designing general-purpose marine systems using the most developed methods of valuation and solving the problem of providing the input data for it.

**Design/methodology/approach:** Developed approach of evaluating the reliability general-purpose marine systems is based on combinatorial methods and Markov's theory. Submitted methodical basics of designing data management systems of general-purpose marine systems equipment reliability are based on CALS-technologies.

**Findings:** It is possible, for example, to apply the results of research during the new general-purpose marine systems designing in the large vessel-design organizations.

**Research limitations/implications:** Listed in article methodical base is the initial stage in the work to develop a system for collecting, processing and dissemination of data on reliability for the fleet. Methodological foundations shown in the article are the initial stage in the development collecting, processing and disseminating data on the reliability for the fleet.

**Originality/value:** The research findings have contributed to the theory and practice of reliability of vessel-systems.

*Key words:* reliability, valuation, designing, general-purpose marine systems, CALS-technologies.

УДК 622.24.05:629.12.74:622.242:539.4

Е.Н. Горбиков

**ОПТИМИЗАЦИЯ НАТЯЖЕНИЯ МОРСКОГО СТОЯКА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приведена математическая формулировка задачи оптимизации натяжения морского стояка, включающая уравнение динамики гибкой конструкции, ограничения на напряженно-деформированное состояние несущего корпуса стояка и оптимизируемый функционал. Представлены результаты решения поставленной задачи оптимизации для конкретных условий морского бурения.

*Ключевые слова:* морской стояк, усилие натяжения, полупогружная буровая установка, напряженно-деформированное состояние, интенсивность морского волнения.

Морской стояк (МС) является наиболее важным элементом комплекса подводного устьевого оборудования, предназначенного для разработки нефтегазовых месторождений с плавучих платформ полупогружного типа и буровых судов. Стояк связывает надводное плавучее сооружение с подводным стволом скважины. Он служит для управляемого спуска в забой бурильного инструмента, отвода бурового раствора на очистку и погружения обсадной колонны.

Конструкция стояка представляет собой длинномерный тонкостенный трубопровод, состоящий из высокопрочных стальных секций, собранных с помощью специальных муфт в единое целое. Внизу МС соединен через шаровой (угловой) компенсатор и гидравлический соединитель с противовыбросовым оборудованием, закрепленным на дне моря. Нижняя опора обеспечивает компенсацию угловых перемещений стояка, вызванных его изгибом в нестационарном потоке окружающей жидкости и горизонтальными перемещениями надводного плавучего сооружения. В верхней части он оснащен шаровым и телескопическим компенсаторами с системой натяжителей, находящихся на плавучей полупогружной буровой установке (ППБУ). Верхняя опора исключает влияние качки буровой платформы на напряженно-деформированное состояние гибкого трубопровода.

Технология морского бурения предъявляет повышенные требования к прочности корпуса стояка и соблюдению ограничений на перемещения, совершаемые его гибкой конструкцией в штормовых условиях открытого моря. Во время эксплуатации МС подвергается воздействию внешнего и внутреннего гидростатических давлений, нестационарной гидродинамической нагрузки со стороны морских волн и течений, растягивающего усилия натяжения, приложенного к верхней части стояка, собственного веса трубопровода и веса бурового раствора, заполняющего его внутреннюю полость. Учет комплексного влияния всех перечисленных силовых факторов на объект исследования делает задачу расчета его напряженно-деформированного состояния достаточно сложной.

Как показывает зарубежный и отечественный опыт эксплуатации комплекса подводного устьевого оборудования, наиболее сложной проблемой является обеспечение прочности гибкой конструкции стояка и удержание его угловых отклонений в опорах в рамках допустимого диапазона, определяемого технологией подводного бурения с плавучих буровых платформ и судов. По причине разрушения несущего корпуса МС и поломки его опор происходит наибольшее количество простоев технологического оборудования.

В качестве возможного пути повышения надежности и безопасности эксплуатации МС может использоваться оптимизация растягивающего усилия (натяжения), приложенного к его верхнему концу.

Целью настоящего исследования является определение оптимального натяжения МС, обеспечивающего минимальный уровень напряжений в трубопроводе, при выполнении ограничений на его линейные и угловые перемещения в условиях нерегулярного морского волнения и приливного течения.

Конструкцию МС схематизируем балкой с малой жесткостью на изгиб, растянутой осевой силой  $T$  и погруженной в подвижный слой жидкости конечной глубины  $H$ . Балка имеет постоянное по длине поперечное сечение в форме кольца, лежит на двух шарнирных опорах и заполнена внутри буровым раствором. Верхняя подвижная опора допускает как угловые, так и линейные перемещения балки. Нижняя неподвижная шарнирная связь позволяет только угловые перемещения.

Величину прогиба стояка считаем малой по сравнению с его длиной, что обеспечивается необходимым натяжением трубопровода и системой позиционирования буровой платформы, ограничивающей ее горизонтальные перемещения относительно точки бурения. Принимаем, что векторы скорости набегающего потока окружающей жидкости, смещения ППБУ и упругая линия конструкции лежат в одной плоскости. Колебания МС в нестационарном потоке жидкости рассматриваем в неподвижной системе координат  $XOY$ , начало которой совпадает с нижней опорой стояка. Ось  $OX$  направлена вертикально вверх,  $OY$  – горизонтально вправо.

Математическая формулировка рассматриваемой оптимизационной задачи имеет следующий вид:

$$a \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + b \frac{\partial^4 y}{\partial x^2 \partial y^2} - (c + f x) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - n \frac{\partial y}{\partial x} = q(x, t) \quad ,$$

$$\psi = \min_{T \in D_T} \Phi(T), \quad \Phi = \max_{x \in [0, H]} m_\sigma(x, T, t),$$

$$y(0, t) = 0, \quad EJ \frac{\partial^2 y(0, t)}{\partial x^2} = -M_{\text{но}} \quad ,$$

$$y(H, t) = S(t) \quad , \quad EJ \frac{\partial^2 y(H, t)}{\partial x^2} = -M_{\text{во}}$$

$$\sigma_3 \leq [\sigma], \quad \varphi_{\text{но}} \leq [\varphi_{\text{но}}], \quad \varphi_{\text{во}} \leq [\varphi_{\text{во}}], \quad l_{\text{тк}} \leq [l_{\text{тк}}].$$

Здесь  $y(x, t)$  – прогиб конструкции МС;  $x$  – координата поперечного сечения трубопровода;  $t$  – время;  $a, b, c, f, k, n$  – коэффициенты при производных, зависящие от геометрических, жесткостных и весовых параметров конструкции МС, усилия натяжения  $T$  и плотности бурового раствора;  $q(x, t)$  – погонная гидродинамическая нагрузка на гибкий трубопровод со стороны набегающего нестационарного потока окружающей жидкости;  $m_\sigma$  – среднее значение максимального эквивалентного напряжения, возникающего в несущем корпусе МС;  $\sigma_3$  – эквивалентное напряжение;  $D_T$  – область допустимых натяжений  $T$ ;  $E$  – модуль упругости материала конструкции МС;  $J$  – момент инерции площади поперечного сечения стояка;  $M_{\text{но}}, M_{\text{во}}$  – внутренние моменты в нижней и верхней опорах, обусловленные их конструктивным исполнением;  $S(t)$  – горизонтальное перемещение ППБУ относительно точки бурения;  $\varphi_{\text{но}}, \varphi_{\text{во}}$  – углы отклонения осевой линии МС от вертикали в нижней и верхней опорах, соответственно;  $l_{\text{тк}}$  – длина хода телескопического компенсатора;  $[\sigma], [\varphi_{\text{но}}], [\varphi_{\text{во}}], [l_{\text{тк}}]$  – допускаемые значения соответствующих величин.

Для моделирования горизонтальных перемещений  $S(t)$  плавучей буровой платформы при волнении различной интенсивности использовались амплитудно-частотные характеристики продольно-поперечных колебаний заякоренной ППБУ [1]. Описание нерегулярного

волнения моря проводилось с помощью конечного числа гармоник, применяя в качестве расчетного волновой спектр Пирсона – Московица в форме [2]:

$$S(\omega) = \frac{1}{4\pi\omega} h_{1/3}^2 \left( \frac{\bar{\omega}}{\omega} \right)^5 \exp \left[ -\frac{1}{\pi} \left( \frac{\bar{\omega}}{\omega} \right)^4 \right],$$

где  $h_{1/3}$  – значительная высота волн;  $\bar{\omega}$  – средняя частота нерегулярных волн;  $\omega$  – текущее значение частоты.

Расчет гидродинамической нагрузки на МС выполнялся по известной формуле Морисона для волн малой амплитуды с учетом скорости стационарного приливного течения и подвижности обтекаемой гибкой конструкции стояка.

Изменение скорости приливного течения по высоте МС описывалось зависимостью [3]:

$$V_T = V_0 \left( \frac{x}{H} \right)^{1/7},$$

где  $V_0$  – скорость приливного течения на поверхности моря.

В качестве объекта исследования был выбран МС, изготовленный из стали 30ХМА с пределом текучести 750 МПа. Погонный вес его конструкции составляет  $3,3 \cdot 10^3$  Н/м, наружный и внутренний диаметры несущей трубы – 0,610 и 0,584 м, соответственно. Испытания проводились при следующих исходных данных: плотность бурового раствора – 2500 кг/м<sup>3</sup>; плотность морской воды – 1030 кг/м<sup>3</sup>; моменты в опорах  $M_{HO} = M_{BO} = 0$ .

Расчеты на ПЭВМ позволили получить серию графиков, показывающих влияние усилия натяжения МС на напряженно-деформированное состояние его конструкции в зависимости от интенсивности нерегулярного волнения при различных скоростях приливного течения и статических перемещениях ППБУ относительно подводного устья скважины. Некоторые результаты проведенных исследований приведены на рис. 1 – рис. 4.

На рис. 1 представлены графики зависимости средних значений относительных максимального эквивалентного напряжения  $m_\sigma$  (относительное эквивалентное напряжение  $\bar{\sigma}_s = \sigma_s / [\sigma]$ ) и угла отклонения  $m_{\varphi_{HO}}$  в нижней опоре (относительный угол в нижней опоре  $\bar{\varphi}_{HO} = \varphi_{HO} / [\varphi_{HO}]$ ) от относительного (отнесенного к весу трубопровода) натяжения  $\bar{T}$  стояка.

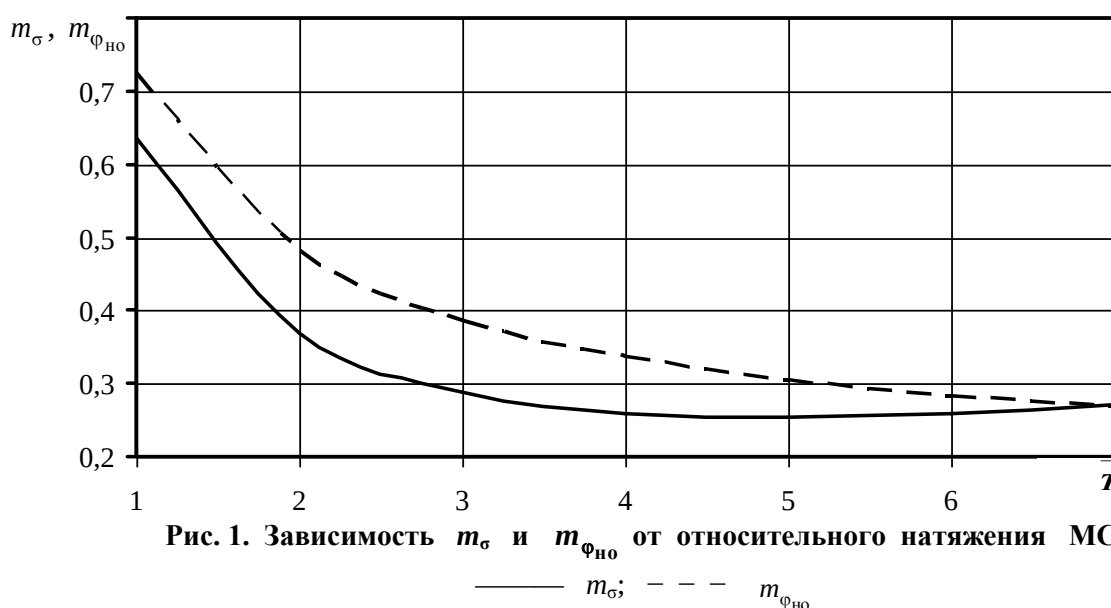


Рис. 1. Зависимость  $m_\sigma$  и  $m_{\varphi_{HO}}$  от относительного натяжения МС:

—  $m_\sigma$ ; - - -  $m_{\varphi_{HO}}$

Приведенные на рис.1 кривые изменения  $m_\sigma$  и  $m_{\varphi_{HO}}$  получены для глубины моря 75 м

при высоте волны трехпроцентной обеспеченности  $h_{3\%} = 6$  м, статическом смещении ППБУ, составляющем 3% от глубины моря, и поверхностной скорости приливного течения 1 м/с. Направления векторов течения, волнового потока и статического смещения буровой платформы совпадали.

Из графика видно, что с ростом усилия натяжения в диапазоне  $1 \leq \bar{T} \leq 5$  наблюдается резкое снижение уровня  $m_\sigma$  в несущем корпусе стояка. Это объясняется уменьшением доли изгибных напряжений в общем напряженном состоянии конструкции. В окрестности  $\bar{T} = 5$  кривая изменения  $m_\sigma$  имеет минимум, соответствующий оптимальному значению усилия натяжения  $\bar{T}_{\text{опт}}$  при заданных условиях. Дальнейший рост натяжения до  $\bar{T} = 7$  приводит к незначительному увеличению напряженности гибкого трубопровода за счет возрастающих растягивающих напряжений в его конструкции. Область натяжений, расположенных правее  $\bar{T}_{\text{опт}}$ , позволяет маневрировать усилием  $\bar{T}$ , не вызывая существенного увеличения напряжений в трубопроводе, и выбирать углы поворота конструкции в опорных закреплениях, исходя из конкретных условий состояния моря.

Кривая изменения  $m_{\phi_{\text{но}}}$  указывает на существенное уменьшение угла в нижней опоре во всем диапазоне роста  $\bar{T}$ . Из графика следует, что режим бурения ( $[\phi_{\text{но}}] = 5^\circ$ ) допустим только при  $\bar{T} \geq 2$ . При меньших натяжениях бурение прекращается и ППБУ переходит в режим штормового отстоя ( $[\phi_{\text{но}}] = 10^\circ$ ).

На рис. 2 приведены графики зависимости оптимального натяжения  $\bar{T}_{\text{опт}}$  от относительного (отнесенного к глубине  $H$  моря) статического смещения  $\bar{S}$  буровой платформы при высотах волн  $h_{3\%} \leq 6$  м, глубине моря 75 м и скоростях приливного течения  $V_0 = 0$ ,  $V_0 = 1$  м/с. Проведенные расчеты показали, что при совпадении направлений векторов скоростей течения, волнового потока и статического смещения ППБУ высота морских волн практически не влияет на величину  $\bar{T}_{\text{опт}}$  на рассматриваемой глубине.

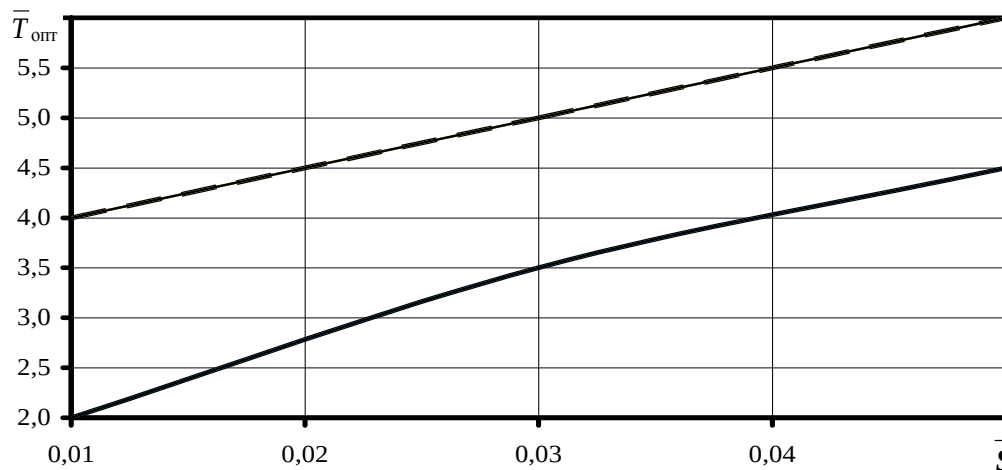
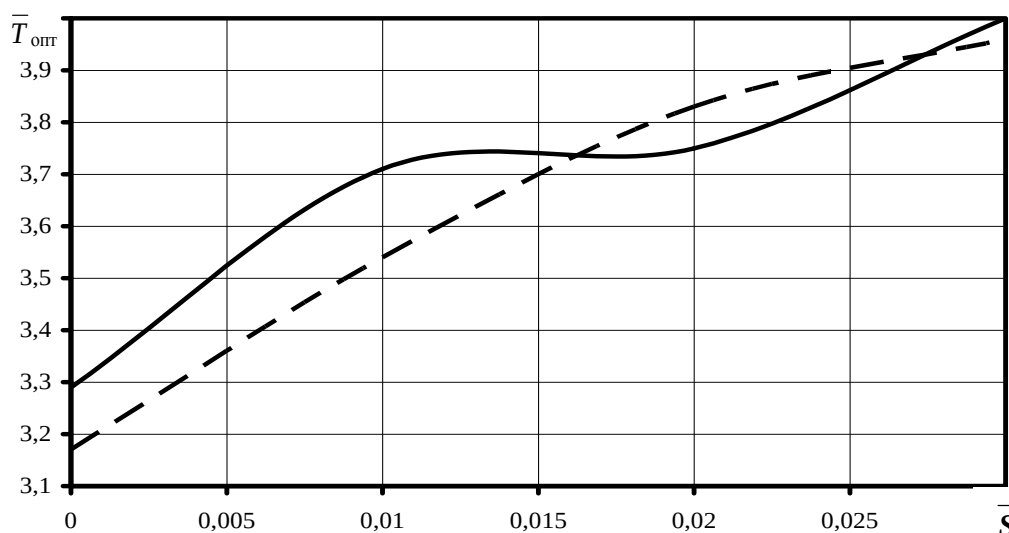


Рис. 2. Зависимость оптимального относительного натяжения от относительного статического смещения ППБУ при глубине моря 75 м:  
 —————  $V_0 = 0$ , — — — —  $V_0 = 1$  м/с

Из графиков видно, что величину  $\bar{T}_{\text{опт}}$  определяют скорость  $V_0$  течения и статическое смещение  $\bar{S}$  буровой установки. Зависимость усилия  $\bar{T}_{\text{опт}}$  от смещения  $\bar{S}$  буровой установки имеет линейный характер как для скорости течения  $V_0 = 1$  м/с, так и в случае, когда приливное течение отсутствует. Увеличение скорости течения приводит к росту значений оптимального натяжения МС.

На рис. 3 показаны кривые изменения  $\bar{T}_{\text{опт}}$  от смещения ППБУ при глубине моря 120 м и различных значениях высоты набегающих волн ( $3 \text{ м} \leq h_{3\%} \leq 8 \text{ м}$ ). Изучалось влияние направления волнового потока на выбор  $\bar{T}_{\text{опт}}$ . Рассматривались два случая: 1) волновой поток совпадает по направлению с приливным течением и статическим смещением ППБУ; 2) волновой поток направлен противоположно приливному течению и статическому смещению платформы.



**Рис. 3. Зависимость оптимального относительного натяжения от относительного статического смещения ППБУ при глубине моря 120 м:**

- направление волнового потока не совпадает с направлениями течения и статического смещения ППБУ,
- - - направление волнового потока совпадает с направлениями течения и статического смещения ППБУ

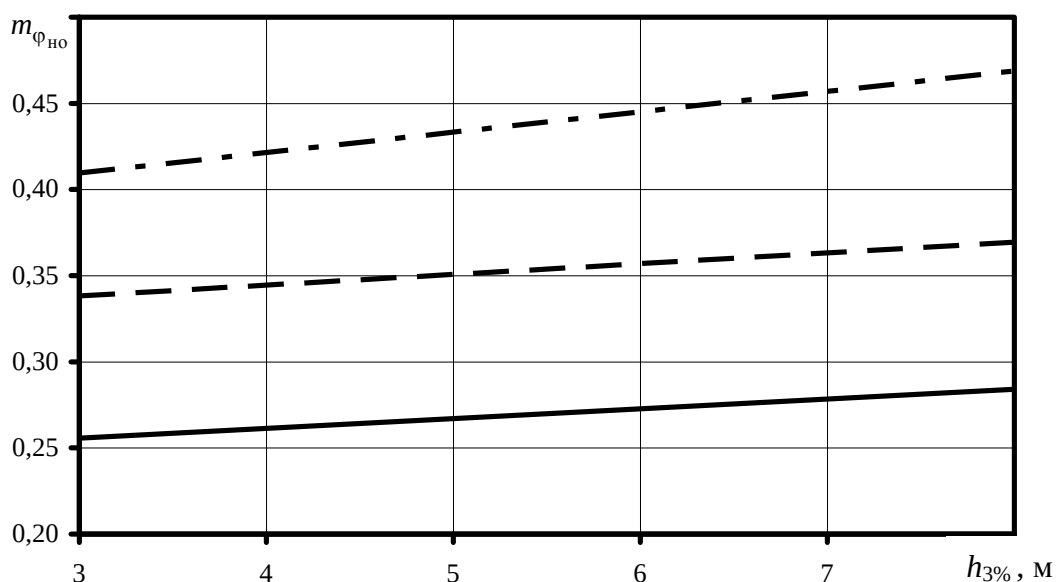
Вычислительный эксперимент показал, что в обоих случаях высота волн не оказывает существенного влияния на величину  $\bar{T}_{\text{опт}}$ . В то же время, расположение ППБУ относительно точки бурения заметно влияет на оптимальную величину растягивающего усилия вне зависимости от направления распространения морских волн. В первом случае зависимость оптимального натяжения от статического отклонения ППБУ близка к линейной, отражающей рост  $\bar{T}_{\text{опт}}$  при увеличении статической составляющей дрейфа буровой платформы. Во втором случае аналогичная зависимость носит нелинейный характер. Особенность последнего графика заключается в том, что он состоит из двух ветвей, отражающих рост  $\bar{T}_{\text{опт}}$  с увеличением отклонений ППБУ от точки бурения в диапазонах  $0 \leq \bar{S} \leq 0,01$  и  $0,02 \leq \bar{S} \leq 0,03$ . В области смещений  $0,01 < \bar{S} < 0,02$  обе ветви соединены отрезком кривой, в пределах которой оптимальное натяжение практически не изменяется. Существование такого участка с постоянным  $\bar{T}_{\text{опт}}$  может быть вызвано переходом гибкого трубопровода от одной криволинейной формы равновесия к другой.

Из графика (рис. 3) видно, что при удержании ППБУ над точкой бурения ( $\bar{S}=0$ ) противоположная направленность распространения морских волн и приливного течения требует большего значения оптимального натяжения по сравнению со случаем их совпадения.

Помимо величины оптимального натяжения практический интерес представляют соответствующие  $\bar{T}_{\text{опт}}$  углы отклонения осевой линии МС от вертикали в нижнем и верхнем шаровых компенсаторах. На рис. 4 изображены зависимости среднего значения угла  $m_{\phi_{\text{ню}}}$

поворота оси МС в нижней опоре от высоты волны  $h_{3\%}$  ( $3 \text{ м} \leq h_{3\%} \leq 8 \text{ м}$ ) для трех значений  $\bar{S}$  при работе стояка в области оптимальных натяжений на глубине моря 120 м с поверхностной скоростью приливного течения  $V_0 = 1 \text{ м/с}$ .

Изолинии  $\bar{S} = 0,01$ ,  $\bar{S} = 0,02$  и  $\bar{S} = 0,03$  представляют собой прямые линии, отражающие линейную зависимость угла  $m_{\phi_{\text{но}}}$  от высоты волны  $h_{3\%}$ . Приращение  $m_{\phi_{\text{но}}}$  при увеличении высоты волны  $h_{3\%}$ , является незначительным при всех рассмотренных отклонениях  $\bar{S}$  платформы.



**Рис. 4. Зависимость  $m_{\phi_{\text{но}}}$  от высоты волны  $h_{3\%}$  и относительного статического смещения ППБУ при  $\bar{T}_{\text{опт}}$ , глубине моря 120 м и скорости  $V_0 = 1 \text{ м/с}$ :**  
 —  $\bar{S} = 0,01$ ; - - -  $\bar{S} = 0,02$ ; - · - · -  $\bar{S} = 0,03$

В отличие от высоты волны влияние статического отклонения ППБУ от точки бурения на величину угла  $m_{\phi_{\text{но}}}$  является более заметным. Большему смещению  $\bar{S}$  соответствует большее значение угла  $m_{\phi_{\text{но}}}$  в нижней опоре МС.

В результате проведенного исследования была получена серия графиков, аналогичных показанным на рис. 1 – рис. 4. Они дают полную информацию о напряженно-деформированном состоянии несущего корпуса МС как при оптимальных, так и не оптимальных натяжениях. На основании этих графиков могут быть выработаны практические рекомендации по выбору величины оптимального натяжения гибкого трубопровода в зависимости от интенсивности морского волнения, глубины моря, скорости приливного течения и статической составляющей отклонения ППБУ от места бурения.

Полученные результаты могут представлять интерес для организаций, связанных с проектированием и эксплуатацией комплекса подводного устьевого оборудования для добычи нефти и газа на континентальном шельфе.

#### Библиографический список

1. **Борисов, Р.В.** Расчет качки заякоренных плавучих буровых установок на регулярном и нерегулярном волнении / Р.В. Борисов, А.Б. Молодожников // Технические средства освоения мирового океана: Труды Ленинградского кораблестроительного института. – Л.: Судостроение, 1980. С. 22–27.

2. **Бородай, И.К.** Мореходность судов: Методы оценки / И.К. Бородай, Ю.А. Нецветаев. – Л.: Судостроение, 1982. – 288 с.
3. **Доусон, Т.** Проектирование сооружений морского шельфа / Т. Доусон – Л.: Судостроение, 1982. – 288 с.

*Дата поступления  
в редакцию 03.02.2014*

**E.N. Gorbikov**

## **OPTIMIZATION OF THE MARINE RISER TENSION**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alexeev

**Purpose:** Determination of the optimal tension of the marine riser, which provides a minimum level of stresses in the pipeline, with the implementation of restrictions on linear and angular movements in conditions of irregular sea waves and tidal currents.

**Design/methodology/approach:** The mathematical formulation of the optimization of the marine riser tension, including the dynamic equation of the flexible design, the restrictions on the stress-strain state of the body riser and optimized functional.

**Findings:** As a result of the conducted researches can be formulated practical recommendations about a choice of size of an optimum tension of the flexible pipeline depending on intensity of sea excitement, depth of the sea, speed of a tidal current and a static component of a deviation of semi-submersible drilling platform from a drilling place.

**Originality/value:** The obtained results may be of interest to organizations associated with the design and operation of process equipment for oil and gas on the continental shelf.

*Key words:* marine riser, tension force, semi-submersible drilling platform, stress-strain state, intensity of sea waves.



УДК 629.12.001

М.Э. Францев

# **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА РАННИХ ЭТАПАХ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА АМФИБИЙНЫХ СУДОВ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ, ПОЛНОСТЬЮ ИЛИ ЧАСТИЧНО ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ КОМПОЗИТОВ**

ЗАО «Нептун-Судомонтаж», г. Долгопрудный Московской обл.

Использование параметрических методов для определения основных характеристик скоростных судов на ранних стадиях проектирования позволяет совершенствовать процесс проектирования. В статье излагается способ параметрического проектирования амфибийных судов на воздушной подушке, полностью или частично изготовленных из композиционных материалов. Представлен алгоритм процесса проектирования.

*Ключевые слова:* параметрические методы, проектирование амфибийных судов на воздушной подушке, композиты.

На территории России существует достаточно большое количество мест, где возможно эффективное применение амфибийных судов на воздушной подушке (АСВП) для круглогодичных и сезонных перевозок. Накоплен определенный опыт создания транспортных средств этого типа различных размеров. В настоящее время АСВП в России применяются в наибольшей степени для перевозки людей, а также для спасательных работ и других задач.

В то же время массовое применение АСВП сдерживается отсутствием новых эффективных проектов судов этого типа. Например, весьма востребованными остаются грузовые АСВП, в том числе, предназначенные для перевозок крупных неделимых грузов. Однако реальное предложение амфибийных судов на воздушной подушке данного назначения на рынке весьма мало или почти отсутствует. Актуальна разработка методов проектного обоснования применения в конструкции АСВП современных материалов, в первую очередь, композитов. Важной проблемой проектирования АСВП является отсутствие отработанных моделей их оптимизации, содержащих блоки эксплуатационных и экономических расчетов эффективности судов данного типа в предполагаемых условиях эксплуатации. Для расширения возможностей создания отечественных амфибийных судов на воздушной подушке, в том числе полностью или частично изготовленных из композитных материалов, необходимо решить ряд проблем, как в области совершенствования проектных характеристик судов и их оптимизации, так и в области улучшения структуры всего процесса проектирования. Необходима разработка ряда способов проектного обоснования таких судов, учитывающих различные аспекты их последующей эксплуатации и обеспечивающих конкурентоспособность проектных решений.

В условиях рыночной экономики одной из главных задач в проектировании судов является повышение конкурентоспособности проекта судна. Это требование может быть реализовано за счет следующих мероприятий:

- обеспечения судну при проектировании повышенных, по сравнению с судами-претендентами, потребительских качеств без пропорционального повышения строительной стоимости судна и стоимости его эксплуатации;
- повышения качества проектных работ, особенно на ранних стадиях проектирования;
- уменьшения издержек на многовариантные проработки и сокращения общих сроков выработки проекта.

Современные стандарты проектирования предусматривают последовательное снижение затрат на такие наиболее дорогие и сложные разделы проекта АСВП, как разработка

аэрогидродинамического комплекса, а также прочностные расчеты, в том числе, расчеты прочности композитов. Эти разделы, как правило, реализуются на базе единожды выполненных научных исследований и накопленного опыта эксплуатации. Этими же соображениями обусловлена все более широкая замена при разработке проекта натурного эксперимента численным расчетом. При этом судно должно обладать сбалансированной совокупностью эксплуатационных качеств, отвечающих ожиданиям потенциальных заказчиков. В современных условиях быстрого технологического развития экономики весьма остро стоит вопрос об оптимизации конструкции амфибийного судна на воздушной подушке, проектирование которого ограничено ресурсами, когда у разработчика нет возможности искать наиболее эффективное решение методом проб и ошибок.

В связи с этим, представляется востребованной вариативная модель проектирования, опирающаяся на использование параметрических методов. Она позволяет проектанту, в рамках экономической целесообразности, быстро переходить от одного размера судна к другому, связывая конструктивные элементы судна, определяющие их параметры, а также эксплуатационные характеристики судна посредством проектных ограничений, определяемых условиями эксплуатации. Накладывая и удаляя такие ограничения, а также изменяя значения параметров, разработчик может изменять элементы проектируемого судна.

В соответствии с практикой современного проектирования, разработке аван-проекта (проектного предложения) амфибийного судна на воздушной подушке, содержащего основные принципиальные решения по выбору его главных размерений, характеристик вместимости, а также полезной нагрузки, энерговооруженности, примененных аэро- и гидродинамических схем, в том числе схем гибкого ограждения и ряда других элементов, предшествует проектный анализ этих характеристик с использованием баз данных судов-претендентов.

Физической моделью способа структурно-параметрического проектирования амфибийных судов на воздушной подушке является подобие аэростатических и гидродинамических процессов на расчетных режимах движения в рамках единой компоновки всего судна, его подъемно-двигательного комплекса, а также компоновочной схемы гибкого ограждения. Подобие обусловлено относительно небольшим различием геометрических размеров наибольшего и наименьшего судов ряда (как правило, не более чем в пять раз).

Способ позволяет формализовать процессы выбора оптимальной структуры характеристик проектируемого АСВП с помощью разработанной методической общности задач анализа информации о ранее построенных судах подобного типа и синтеза проектных обоснований. При этом проектировщик оперирует на единой основе множествами технических показателей характеристик АСВП (масса, размеры, мощность и их соотношения), а также показателей качества функционального использования (эксплуатационные и экономические характеристики судна) с помощью специфических экономико-информационных и математических моделей различного типа и вида.

Основным принципом, реализуемым в способе структурно-параметрического проектирования АСВП, является выявление и оптимизация макропеременных, опирающаяся на анализ связанных с ними технико-экономических показателей, определяемых показателями функционального использования судна в эксплуатации в рассматриваемом размерном интервале. При этом используется двухуровневая иерархия упрощенной логико-математической модели, в которой верхний уровень модели связан с эксплуатационными качествами судна. Нижний уровень модели представляет собой систему основных проектировочных уравнений, в которые, в качестве переменных входит небольшое количество характеристик судна (параметров), к которым подстраиваются остальные [2, 5].

Непосредственному структурно-параметрическому синтезу характеристик проектируемого судна предшествует разработка базы данных. При этом проектные характеристики построенных АСВП анализируются различными способами, в том числе методами регрессионного анализа.

Задача проектирования судна имеет несколько критериев оптимизации, из которых на различных этапах анализа выбирается основной критерий, поэтому при формировании базы

данных необходимо стремиться к максимально возможному учету всех технико-экономических показателей, а также показателей функционального использования (эксплуатационных качеств построенных судов).

Параметрический ряд АСВП - это упорядоченная совокупность числовых значений их проектных характеристик. В параметрических рядах, наряду с размерами судов, характеристиками их массы и мощности, важную роль играют отдельные элементы нагрузки масс, расходные характеристики судовой энергетической установки, особенности их движительных комплексов и пр. В случае группировки судов в параметрическом ряду по одному или нескольким ключевым признакам, например, таким, как особенности аэрогидродинамического комплекса, а также другим конструктивно-технологическим решениям можно говорить о типоразмерном параметрическом ряде.

При выборе параметров для параметрических рядов прежде всего решается вопрос о мерности рядов. Параметрический ряд, построенный для одного главного параметра, будет одномерным. Обоснованный выбор параметров для построения параметрического ряда имеет большое значение для создания оптимального набора сбалансированных характеристик как одного судна, так и группы судов нескольких размеров. Необходимо отметить, что построение параметрического ряда для одного главного параметра и его оптимизация не всегда позволяет создать судно с оптимальными параметрами. Более перспективным путем является построение многомерных параметрических рядов, охватывающих не только основные, но и вспомогательные параметры судна. В то же время, создание многомерных параметрических рядов судов является чрезвычайно сложной задачей и, по существу, создание оптимальных многомерных параметрических рядов судов находится на начальной стадии развития.

Проиллюстрируем изложенные соображения примером. Параметрический типовой ряд формируется из значений проектных характеристик АСВП, на основе единой компоновки подъемно-движительного комплекса и единой компоновочной схемы гибкого ограждения, поэтому проектные обоснования для всех вариантов проектируемого судна выполняются в рамках единой аэрогидродинамической схемы и компоновки, а также скоростного диапазона. Изменения проектных характеристик по интервалу основного параметра ряда устанавливаются путем анализа баз данных методами регрессионного анализа.

В настоящее время сформировались следующие основные компоновочные схемы подъемно-движительных комплексов экономичных амфибийных судов на воздушной подушке:

- подъемно-движительный комплекс в виде осевого нагнетателя или многолопастного воздушного винта, обеспечивающего тягу, с приводом от единственного двигателя. Нагнетание воздуха в воздушную подушку производится за счет обора части воздуха;
- подъемно-движительный комплекс в виде центробежного нагнетателя, обеспечивающего тягу, и нагнетание воздуха в воздушную подушку за счет обора части воздуха с приводом от единственного двигателя;
- подъемно-движительный комплекс в виде воздушного винта, обеспечивающего тягу, и осевого или центробежного нагнетателя, обеспечивающего нагнетание воздуха в воздушную подушку, объединенных единой трансмиссией с приводом от одного двигателя;
- подъемно-движительный комплекс в виде воздушного винта, обеспечивающего тягу, и осевого или центробежного нагнетателя, обеспечивающего нагнетание воздуха в воздушную подушку, с приводом от двух разных двигателей.

В настоящее время сформировались следующие основные компоновочные схемы гибких ограждений экономичных амфибийных судов на воздушной подушке:

- двухъярусная схема ограждения воздушной подушки со съёмными элементами-соплами и жестким ресивером;
- двухъярусная схема гибкого ограждения со съёмными элементами-соплами и гибким ресивером, как вариант – продольным и поперечными киями, секционирующими воздушную подушку;

- камерная схема гибкого ограждения с двумя продольными надувными скегами, а также передней и задней завесами шторного типа;
- камерная схема гибкого ограждения с тремя продольными надувными скегами, а также передней и задней завесами шторного типа;
- камерная схема гибкого ограждения с тканевой завесой по периметру, имеющей металлические элементы, обеспечивающие сохранение формы, и продольным килем, секционирующим воздушную подушку;
- одноярусная схема гибкого ограждения с гибким ресивером;
- гибридная схема гибкого ограждения с тремя надувными продольными скегами, находящимися внутри гибкого ресивера;
- схема гибкого ограждения с кольцевым надувным элементом;
- схема гибкого ограждения с кольцевым надувным элементом и центральным скегом-корпусом.

Необходимо отметить, что каждому размерному диапазону АСВП соответствуют свои компоновочные схемы подъемно-движительных комплексов и гибких ограждений воздушной подушки. При выборе размерного диапазона параметрического ряда проектировщику необходимо иметь в виду это условие.

Проектное обоснование главных размерений и других характеристик амфибийного судна на воздушной подушке выполняется при помощи изменений проектных характеристик в виде функций, устанавливающих взаимосвязь между его размерами, например,  $L_{габ}$ ,  $B_{габ}$ , соотношениями типа  $L_{габ}/B_{габ}$ , а также такими характеристиками АСВП, как полная масса  $D$ , мощность  $N$ ,  $N/D$  - энерговооруженность, водоизмещение порожнем  $D_{пор}$ , коэффициент утилизации по дедвейту  $\eta$ , рассматривая значения величин грузоподъемности  $P_{гр}$ , массы топлива  $P_{топл}$ , массы экипажа  $P_{эк}$ , массы пассажиров  $P_{пасс}$ , модуля массы корпуса  $q_{корп}$ , клиренса воздушной подушки  $h$  и ряда других, по интервалу базовой длины  $L^*$ . При этом выполняется сопоставление и осуществляется выбор вариантов по экономическому критерию [3, 4].

Таблица 1

**Представление параметрического ряда АСВП с использованием результатов, полученных при обработке баз данных**

| Характеристика | $L_1^*$                   | $L_2^*$                   | ... | $L_n^*$                   |
|----------------|---------------------------|---------------------------|-----|---------------------------|
| $L_{габ}$      | $L = a_1 L_1^{*b1}$       | $L = a_1 L_2^{*b1}$       |     | $L = a_1 L_n^{*b1}$       |
| $B_{габ}$      | $B = a_2 L_1^{*b2}$       | $B = a_2 L_2^{*b2}$       |     | $B = a_2 L_n^{*b2}$       |
| ...            |                           |                           |     |                           |
| $L_{БП}$       | $L_{БП} = a_4 L_1^{*b4}$  | $L_{БП} = a_4 L_2^{*b4}$  |     | $L_{БП} = a_4 L_n^{*b4}$  |
| $B_{БП}$       | $B_{БП} = a_5 L_1^{*b5}$  | $B_{БП} = a_5 L_2^{*b5}$  |     | $B_{БП} = a_5 L_n^{*b5}$  |
| $D$            | $D = a_6 L_1^{*b6}$       | $D = a_6 L_2^{*b6}$       |     | $D = a_6 L_n^{*b6}$       |
| $DW$           | $DW = a_7 L_1^{*b7}$      | $DW = a_7 L_2^{*b7}$      |     | $DW = a_7 L_n^{*b7}$      |
| $\eta$         | $\eta = a_8 L_1^{*b8}$    | $\eta = a_8 L_2^{*b8}$    |     | $\eta = a_8 L_n^{*b8}$    |
| $D_{пор}$      | $D_{пор} = a_9 L_1^{*b9}$ | $D_{пор} = a_9 L_2^{*b9}$ |     | $D_{пор} = a_9 L_n^{*b9}$ |
| $P_i$          | $P_i = a_{10} L_1^{*b10}$ | $P_i = a_{10} L_2^{*b10}$ |     | $P_i = a_{10} L_n^{*b10}$ |
| $P_j$          | $P_j = a_{11} L_1^{*b11}$ | $P_j = a_{11} L_2^{*b11}$ |     | $P_j = a_{11} L_n^{*b11}$ |
| $N$            | $N = a_{12} L_1^{*b12}$   | $N = a_{12} L_2^{*b12}$   |     | $N = a_{12} L_n^{*b12}$   |
| ...            |                           |                           |     |                           |
| $h$            | $h = a_n L_1^{*bn}$       | $h = a_n L_2^{*bn}$       |     | $h = a_n L_n^{*bn}$       |

Ряды значений этих функций, построенные на множестве значений независимой переменной  $L^*$  в пределах рассматриваемого интервала, позволяют осуществлять переход от основных размеров и других характеристик одного варианта АСВП к основным размерам и другим характеристикам другого варианта АСВП, варьируя только один параметр  $L^*$ , как наиболее универсальный, при этом оставаясь в зоне предпочтительности (табл. 1). При по-

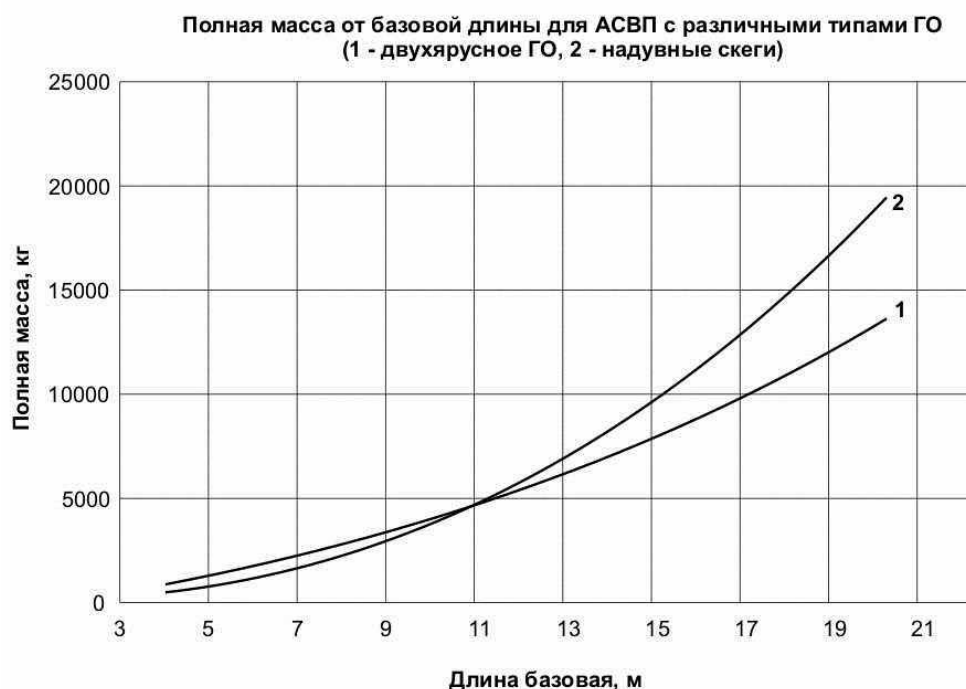
мощи вариаций по базовой длине можно получить семейство характеристик ряда АСВП, сбалансированных по соотношениям основных размеров и других характеристик, например, элементам нагрузки масс. При необходимости можно производить вариации по другим параметрам судна, предварительно задав интервал изменения и построив на них в качестве независимой переменной аналогичное семейство функций. Правильность определения значений характеристик судна, а также их сбалансированность можно контролировать при помощи интегральных показателей АСВП. В качестве интегральных показателей можно использовать такие характеристики, как расход топлива на перемещение на 1 км пути 1 т полной массы судна, 1 т полезной нагрузки судна, а также 1 пассажира. Можно использовать в качестве интегрального показателя удельную мощность, используемую для создания расчетного давления на 1 м<sup>2</sup> воздушной подушки, а также ряд других [3].

Сбалансированность проектных характеристик разрабатываемого АСВП определяется системой проектных уравнений (1). В нее входят уравнение парения на воздушной подушке, уравнение нагрузки масс и уравнение мощности [1]. При этом она представляется в виде:

$$\begin{aligned} D &= f_4(L^*) = pL_{BП}B_{BП} = f_1(L^*)f_2(L^*)f_3(L^*), \\ D &= f_4(L^*) = D_{nop} + DW = f_6(L^*) + f_7(L^*) = \\ &= \sum_{i=1}^k P_i + \sum_{j=1}^l P_j = \sum_{i=1}^k f_i(L^*) + \sum_{j=1}^l f_j(L^*) \\ N &= \frac{N}{D} D = f_4(L^*)f_5(L^*), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $f_1(L^*)$ ,  $f_2(L^*)$ ,  $f_3(L^*)$  – соответственно, значения удельного давления воздушной подушки и размеров ее гибкого ограждения,  $f_4(L^*)$ ,  $f_6(L^*)$ ,  $f_7(L^*)$  – соответственно, значения полной массы, водоизмещения порожнем и дедвейта,  $f_i(L^*)$  – значения статей нагрузки масс по разделу «Водоизмещение порожнем»,  $f_j(L^*)$  – значения статей нагрузки масс по разделу «Дедвейт», а  $f_5(L^*)$  – значения энерговооруженности, связывающего величины полной массы и мощности.

На рис. 1 – рис. 3 приведены изменения таких проектных характеристик АСВП, имеющих гибкие ограждения двухъярусной конструкции и использующих в конструкции ГО надувные скеги, как полная масса, мощность, площадь ГО, полученные в результате анализа параметрических рядов.



**Рис. 1. Изменение полной массы АКВП по интервалу базовой длины**

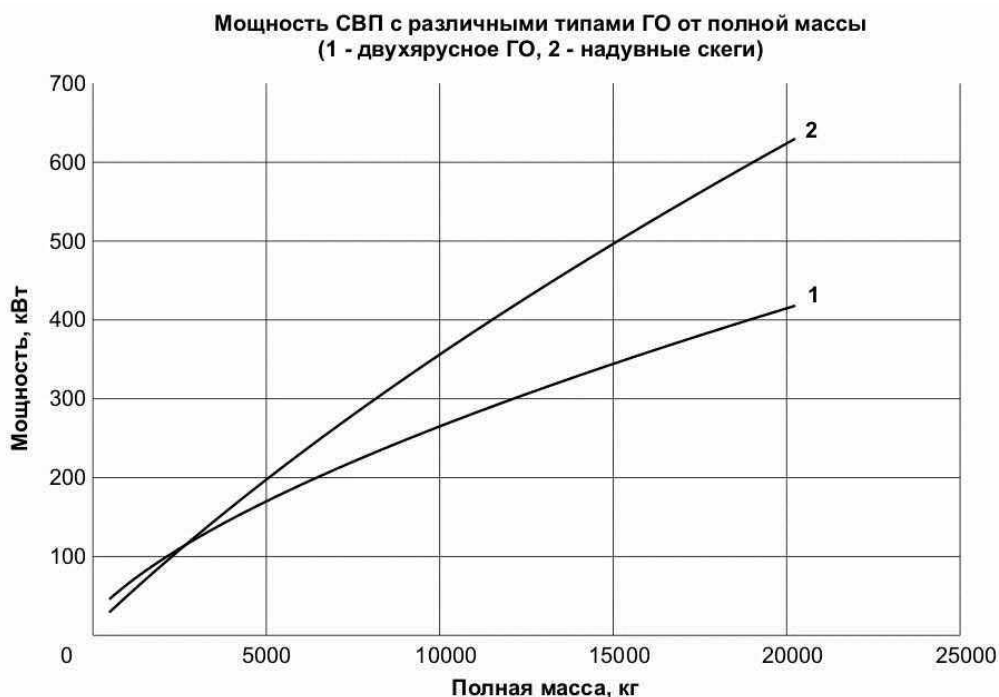


Рис. 2. Изменение мощности АКВП по интервалу полной массы

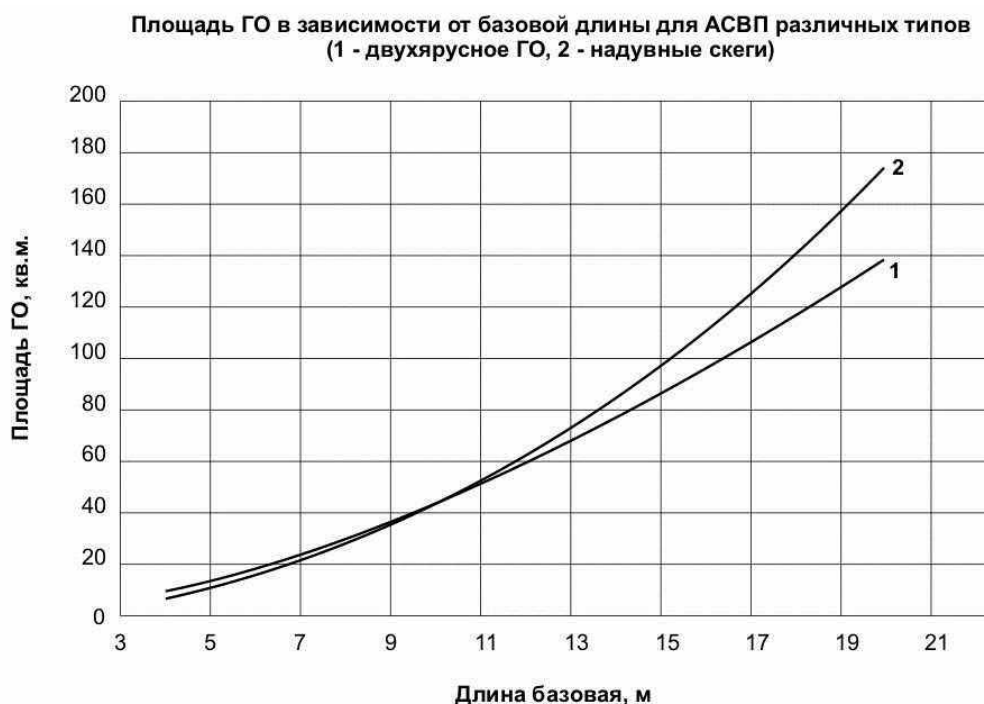


Рис. 3. Изменение площади ГО АКВП по интервалу базовой длины

Составляющими водоизмещения порожнем амфибийного судна на воздушной подушке, используемыми при составлении параметрического ряда, являются:

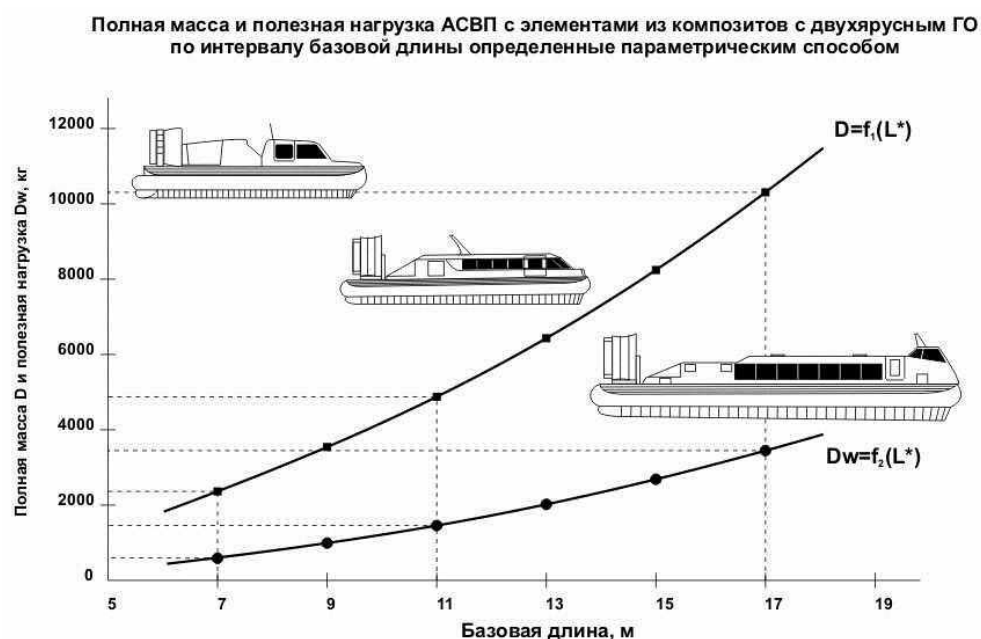
- корпус вместе с рубкой и элементами, обеспечивающими крепление гибкого ограждения, а также оборудование помещений;
- гибкое ограждение (ГО) воздушной подушки;
- движительный комплекс с исполнительными механизмами управления;
- нагнетательный комплекс;
- судовая энергетическая установка с обслуживающими системами, электрооборудованием и трансмиссией;

- системы и устройства, которые в связи с малой массой целесообразно учитывать не отдельными статьями, а в виде поправок к нагрузке масс.

Составляющими дедвейта (полезной нагрузки) амфибийного судна на воздушной подушке, используемыми при составлении параметрического ряда, являются:

- пассажиры;
- перевозимый груз, который может быть размещен в помещениях судна;
- запас топлива;
- ЗИП, инструмент, запасы технических жидкостей и другие грузы, которые в связи с малой массой целесообразно учитывать не отдельными статьями, а в виде поправок к нагрузке масс.

Полученные выводы могут быть объяснены с точки зрения конструкции амфибийных судов на воздушной подушке. Существует определенное подобие конструктивных решений АСВП обоих типов в размерных диапазонах в части компоновки, конструкции верхних строений в виде надстройки и/или рубки, судовой энергетической установки, подъемно – двигательных комплексов и ряда других элементов судна. Известно, что для судов небольших размеров толщина корпусных конструкций определяется соображениями не столько общей, сколько местной прочности. Использование надувных скегов в конструкции ГО воздушной подушки позволяет обеспечить существенный выигрыш в массе корпуса за счет минимизации контактов корпуса с опорной поверхностью (экраном), обеспечиваемых этой схемой. Существует, также, определенный выигрыш в массе самого гибкого ограждения, за счет более простой и менее объемной конструкции по отношению к двухъярусной схеме ГО. В настоящее время реализовано несколько проектов судов с надувными элементами ограждения воздушной подушки совсем не имеющих жестких элементов корпуса.



**Рис. 4. Изменение характеристик полной массы и полезной нагрузки АСВП с двухъярусным гибким ограждением**

С ростом размеров судна необходимость обеспечения общей прочности корпуса требует увеличения размеров его связей, что приводит при определенных размерах судна к сопоставимой массе корпусных конструкций АКВП обоих типов. В то же время, необходимость обеспечения прочности надувных элементов ГО в виде скегов, находящихся в непрерывном контакте с опорной поверхностью (экраном), вызывает опережающий рост массы конструкций самого ГО.

При этом важным фактором становится меньшая, по сравнению с двухъярусной схемой гибкого ограждения воздушной подушки, эффективность схемы ГО, использующей надувные скеги. Совокупность указанных факторов находит свое отражение в соответствующем изменении характеристик нагрузки масс и энерговооруженности.

В заключение необходимо отметить, что предложенный способ структурно-параметрического проектирования амфибийного судна на воздушной подушке, полностью или частично изготовленного из композитов, позволяет получить существенный выигрыш в затратах на поисковые исследования начального этапа проектирования.

Результаты, полученные с помощью данного способа, достаточно эффективны и просты в дальнейшем применении (см. рис. 4). После определения основных проектных характеристик АСВП разработка отдельных разделов проекта ведется традиционными методами.

### Библиографический список

1. Демешко, Г.Ф. Проектирование судов. Амфибийные суда на воздушной подушке / Г.Ф. Демешко. – СПб., 1992. – 598 с.
2. Пашин, В.М. Оптимизация судов / В.М. Пашин. – Л.: Судостроение, 1983. – 286 с.
3. Францев, М.Э. Анализ эксплуатационных и экономических аспектов в модели проектной оптимизации амфибийных катеров на воздушной подушке, предназначенных для перевозки пассажиров. / М.Э. Францев // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 2. С. 179–184.
4. Францев, М. Э. Способ проектного обоснования главных элементов и других характеристик судов из композиционных материалов при помощи анализа баз данных / М. Э. Францев // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2011. № 3. С. 37–47.
5. Царев, Б.А. Оптимизационное проектирование скоростных судов / Б.А. Царев. – Л.: ЛКИ, 1988. – 102 с.

*Дата поступления  
в редакцию 03.02.2014*

**M.E. Frantsev**

### THE PARAMETRIC METHODS HAVE USED IN THE EARLY STAGES OF PROJECT DEVELOPMENT OF HOVERCRAFT FROM COMPOSITES

CJSC “Neptun-Sudomontaj”

**Purpose:** The use of parametric methods to determine the main characteristics of high-speed vessels in the early stages of design.

**Methodology/approach:** The physical model of the structural method of parametric design for amphibious hovercrafts is based on a similarity of aerodynamic and hydrodynamic processes for modes of movement within a single type series of the vessels.

**Findings:** The method allows to formalize the processes of selecting the optimal structure of characteristics for hovercrafts which developed on base of methodological generality analyze information on design of previously built ships of this type and synthesis studies.

**Research limitations/implications:** The method is limited to a relatively small difference in the geometric dimensions for the largest and smallest of the type series of vessels.

**Originality:** The way of structural parametric design of hovercraft which wholly or partly made from composites, allows getting a significant gain for the cost of the initial phase of exploratory research of project.

*Key words:* parametric methods, design of amphibious hovercrafts, composites.



## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.317

Г.И. Коробко, В.В. Лебедев, С.В. Попов

### ВЫДЕЛЕНИЕ СИГНАЛА НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ЧАСТОТЫ И АМПЛИТУДЫ СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Волжская государственная академия водного транспорта

**Цель:** Разработка и исследование устройства выделения сигнала нелинейных искажений сетевого напряжения автономных электростанций.

**Методы исследования:** Аналитический расчет и моделирование в пакете программ Matlab Simulink.

**Результаты:** Определены параметры сигнала для компенсации фазового сдвига выходного напряжения фильтра при изменении частоты сетевого напряжения. Разработана структурная схема и модель устройства выделения сигнала нелинейных искажений.

**Вывод:** Предложенное устройство обеспечивает высокую точность выделения сигнала нелинейных искажений в статических и динамических режимах работы автономной электростанции. Разработанная модель может быть применена при моделировании устройств компенсации нелинейных искажений напряжения.

*Ключевые слова:* автономные электростанции, нелинейные искажения напряжения, качество электроэнергии, изменение частоты напряжения, изменение амплитуды напряжения.

Работа автономной электростанции, в том числе и судовой, в составе которой имеются мощные нелинейные потребители, сопровождается значительным искажением сетевого напряжения. К таким потребителям относятся статические преобразователи (управляемые и неуправляемые выпрямители, преобразователи частоты), светотехническое оборудование и др. Их питание от сети соизмеримой мощности приводит к генерации в сеть высших гармоник тока, которые создают на импедансах сети падения напряжения, искажающие форму сетевого напряжения. Наличие в сети высших гармоник негативно сказывается на работе генераторов, трансформаторов и электродвигателей, создавая в них дополнительные потери и снижая коэффициент мощности, что приводит к их перегреву и повышенной вибрации [1, 2].

Для снижения величины нелинейных искажений напряжения повышают число фаз выпрямления преобразователей, используют пассивные сетевые и резонансные фильтры, силовые активные фильтры и активные выпрямители. Однако все перечисленные способы требуют усложнения схем, использования мощных силовых согласующих устройств и другого оборудования. Это ведет к увеличению массогабаритных показателей, сравнительно дорого и зачастую неэффективно.

Уровень высших гармоник можно снизить, используя вольтодобавочный компенсатор, функциональная схема которого для одной фазы представлена на рис. 1.

Источник электроэнергии (генератор  $G$ ) питает линейную нагрузку ЛН и через последовательно включенную обмотку вольтодобавочного трансформатора  $T$  статический преобразователь СП, который является источником нелинейных искажений напряжения.

Устройство управления УУ выделяет из напряжения сети  $U_C$  сигнал суммы высших гармоник  $U_\Sigma$ , который после усиления в широтно-импульсном преобразователе ШИП поступает на первичную обмотку вольтодобавочного трансформатора  $T$ . Последний передает

напряжение вольтодобавки в сеть в противофазе, чем обеспечивается компенсация нелинейных искажений. Питание ШИП осуществляется от источника (ИП), представляющего собой трехфазный мостовой выпрямитель, подключенный к сети со стороны нелинейной нагрузки.

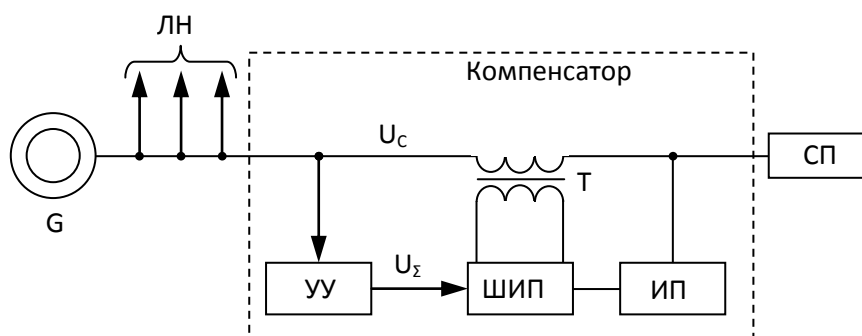


Рис. 1. Функциональная схема компенсатора нелинейных искажений напряжения

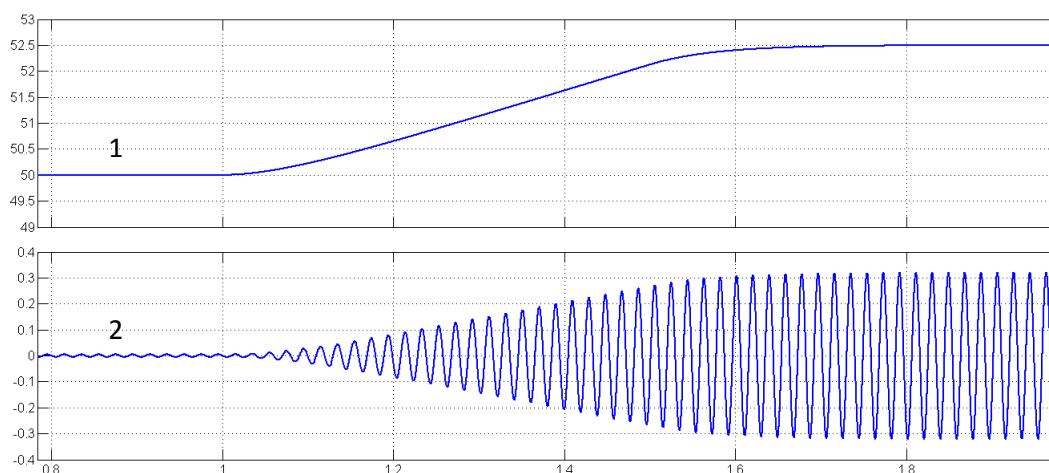
Одним из основных факторов, влияющих на степень компенсации нелинейных искажений напряжения, является точность выделения сигнала суммы высших гармоник. Решение данной задачи осложняется тем, что работа любой автономной электростанции сопровождается значительными отклонениями амплитуды и частоты сетевого напряжения. Причиной этого является включение и отключение потребителей, мощность которых соизмерима с мощностью электростанции. Поскольку принцип выделения сигнала  $U_{\Sigma}$  заключается в подавлении основной гармоники сетевого напряжения, отклонения частоты и амплитуды напряжения сети как в статических, так и в динамических режимах, должны обязательно учитываться при построении УУ.

Один из вариантов устройства управления основан на использовании генератора эталонного синусоидального напряжения (ГЭСН) [3], выходной сигнал которого вычитается из сигнала напряжения сети. Результирующий сигнал будет содержать только сумму высших гармоник сетевого напряжения. Однако, чтобы получить высокую точность выделения сигнала суммы, необходимо написание и реализация сложного алгоритма, обеспечивающего синхронизацию эталонного напряжения с напряжением сети по частоте и амплитуде основной гармоники. Измерение сетевого напряжения и формирование сигнала  $U_{\Sigma}$  требует применения быстродействующих АЦП и ЦАП, что приводит к значительному удорожанию всей системы.

Устройство управления может быть реализовано на базе фильтра низких частот (ФНЧ), например, фильтра Баттерворта 8-го порядка. Такой фильтр характеризуется отсутствием пульсаций АЧХ в полосе пропускания и ее быстрым спадом в полосе заграждения, поэтому эффективно подавляет все высшие гармоники в напряжении сети. Настраивается фильтр таким образом, чтобы коэффициент его передачи на частоте 50 Гц был равен единице, а фазовый сдвиг выходного напряжения составлял  $180^{\circ}$ . В результате сложения напряжений сети и фильтра основная гармоника полностью компенсируется, а результирующий сигнал  $U_{\Sigma}$  содержит только сумму высших гармоник напряжения. Точность формирования сигнала  $U_{\Sigma}$  не зависит от амплитуды сетевого напряжения, однако изменение частоты приведет к появлению в выходном сигнале фильтра дополнительного фазового сдвига. Поэтому в составе сигнала управления появляется основная гармоника, амплитуда которой будет пропорциональна отклонению частоты. На рис. 2 показано изменение амплитуды основной гармоники сетевого напряжения в выходном сигнале  $U_{\Sigma}$  (кривая 2) при возрастании частоты сети от 50 до 52,5 Гц (кривая 1).

Анализ диаграммы показывает, что процентное содержание первой гармоники увеличилось с 0,2 до 30% от номинального значения. Следовательно, в состав устройства управления необходимо ввести канал компенсации фазового сдвига при отклонении частоты [4]. В качестве компенсирующего сигнала можно использовать линейное напряжение двух других

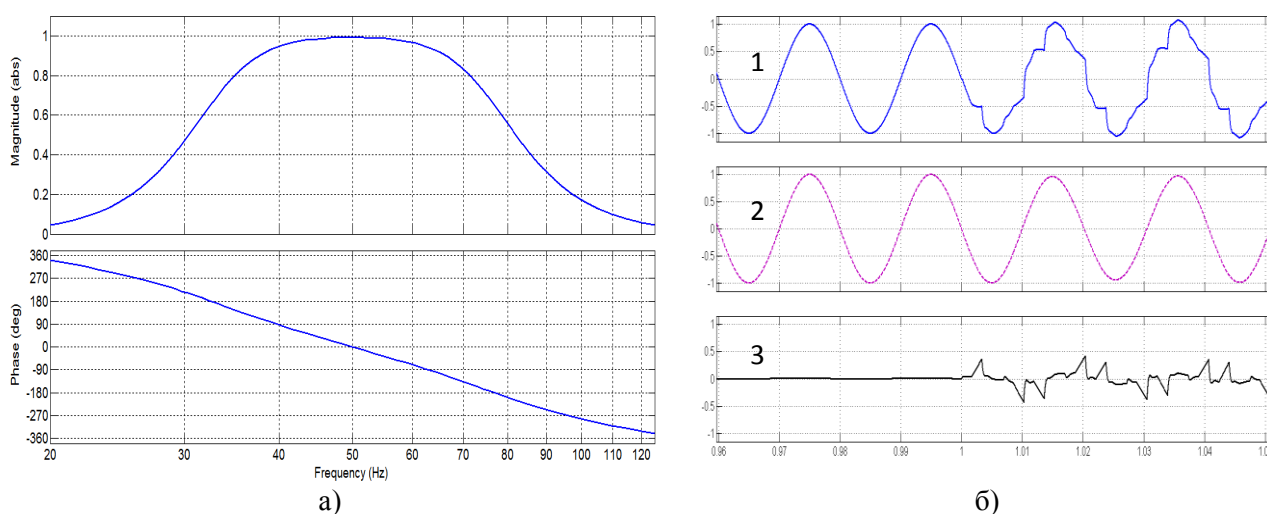
фаз, величина которого дозируется сигналом отклонения частоты дизель-генераторного агрегата от номинального значения.



**Рис. 2. Изменение амплитуды основной гармоники при нарастании частоты сетевого напряжения**

Исследование устройства управления на базе ФНЧ с каналом компенсации фазового сдвига показало высокую точность выделения сигнала суммы высших гармоник в установившихся режимах работы СЭЭС. Несмотря на это, такое устройство обладает рядом существенных недостатков. Прежде всего, использование фильтра высокого порядка требует точной настройки параметров для обеспечения необходимых частотных характеристик. Коэффициент, дозирующий сигнал компенсации фазового сдвига, нуждается в дополнительной корректировке в зависимости от отклонения частоты сетевого напряжения, что обусловлено нелинейностью ФЧХ фильтра в зоне допустимого отклонения частоты ( $50 \text{ Гц} \pm 5\%$ ). Кроме того, отставание выходного напряжения фильтра от напряжения сети на  $180^\circ$  снижает быстродействие системы компенсации нелинейных искажений и приводит к «накоплению» в сигнале  $U_\Sigma$  основной гармоники в динамических режимах.

Устранение указанных недостатков можно обеспечить, применив полосовой фильтр (ПФ), представляющий собой комбинацию фильтров высоких и низких частот, в качестве которых предлагается использовать фильтры Баттерворта 6-го порядка. Частотные характеристики полосового фильтра представлены на рис. 3, а.



**Рис. 3. Частотные характеристики полосового фильтра (а) и принцип работы устройства управления (б)**

Как видно из характеристик, фазовый сдвиг выходного напряжения фильтра при номинальной частоте основной гармоники (50 Гц) равен нулю. Коэффициент передачи фильтра в зоне допустимого отклонения частоты равен единице, а ФЧХ является практически линейной. Работа УУ на базе ПФ заключается в том, что сигнал суммы высших гармоник напряжения находится как разность напряжения сети и выходного напряжения фильтра, которые при частоте 50 Гц совпадают по фазе. На рис. 3, б представлены сигналы на входе (кривая 1) и выходе (кривая 2) полосового фильтра, а также сигнал их разности (кривая 3), при отсутствии нелинейных искажений и при их появлении в момент времени, равный 1 с.

Отклонение частоты сетевого напряжения приводит к появлению фазового сдвига  $\beta$  выходного напряжения фильтра относительно напряжения сети. В результате в сигнале разности, как и в устройстве на базе ФНЧ, появится первая гармоника, которую необходимо скомпенсировать. Для определения структуры и параметров канала компенсации произведем расчет компенсирующего сигнала. Поскольку амплитуды напряжения сети и напряжения на выходе фильтра равны, сигнал компенсации определяется разностью:

$$U_K = \sin(\omega t) - \sin(\omega t + \beta) = 2 \sin\left(-\frac{\beta}{2}\right) \cos\left(\omega t + \frac{\beta}{2}\right).$$

Амплитуду входного напряжения сети будем считать равной единице.

С учетом малости  $\varphi$ , считая, что  $\sin \varphi \approx \varphi$ , получим

$$U_K = -\beta \cos\left(\omega t + \frac{\beta}{2}\right).$$

Согласно полученному выражению, сигнал компенсации должен иметь косинусоидальную форму, амплитуду пропорциональную  $\beta$  и фазовый сдвиг относительно входного напряжения фильтра, равный  $\beta/2$ . В качестве фактического сигнала компенсации используем сигнал

$$U_{K\Phi} = -\beta \cos(\omega t + \beta), \quad (1)$$

который можно получить как разность выходных напряжений аналогичных фильтров двух других фаз. Найдем разницу сигналов  $U_{K\Phi}$  и  $U_K$ :

$$\Delta U_K = U_{K\Phi} - U_K = -\beta \cdot \left( \cos\left(\omega t + \frac{\beta}{2}\right) - \cos(\omega t + \beta) \right) = 2\beta \sin\left(\omega t + \frac{3\beta}{4}\right) \sin\left(-\frac{\beta}{4}\right).$$

С учетом малости  $\beta$  получим

$$\Delta U_K = -\frac{\beta^2}{2} \sin\left(\omega t + \frac{3\beta}{4}\right).$$

Скомпенсируем величину  $\Delta U_K$ , подав дополнительный синусоидальный сигнал  $\Delta U_{K\Phi}$ , равный

$$\Delta U_{K\Phi} = -\frac{\beta^2}{2} \sin(\omega t + \beta). \quad (2)$$

Так как фазы требуемого и фактического компенсирующих сигналов отличаются, определим ошибку  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \Delta U_{K\Phi} - \Delta U_K = -\frac{\beta^2}{2} \left( \sin\left(\omega t + \frac{3\beta}{4}\right) - \sin\left(\omega t + \beta\right) \right) = -\beta^2 \sin\left(-\frac{\beta}{8}\right) \cos\left(\omega t + \frac{7\beta}{8}\right).$$

С учетом малости  $\beta$  получим

$$\varepsilon = \frac{\beta^3}{8} \cos\left(\omega t + \frac{7\beta}{8}\right).$$

При  $\beta = 0,3$  рад, что соответствует отклонению частоты на 5%, амплитуда основной

гармоники, в сигнале высших гармоник, составит  $\approx 0.33\%$  от номинального значения. Для ее компенсации к основному сигналу (1) можно добавить сигнал:

$$\varepsilon = \frac{\beta^3}{8} \cos(\omega t + \beta). \quad (3)$$

Таким образом результирующий сигнал компенсации будет равен:

$$U_{K\Sigma} = -\left(\beta - \frac{\beta^3}{8}\right) \cos(\omega t + \beta) - \frac{\beta^2}{2} \sin(\omega t + \beta). \quad (4)$$

Функциональная схема канала компенсации, реализованная в соответствии с выражением (4), будет иметь вид, показанный на рис. 4.

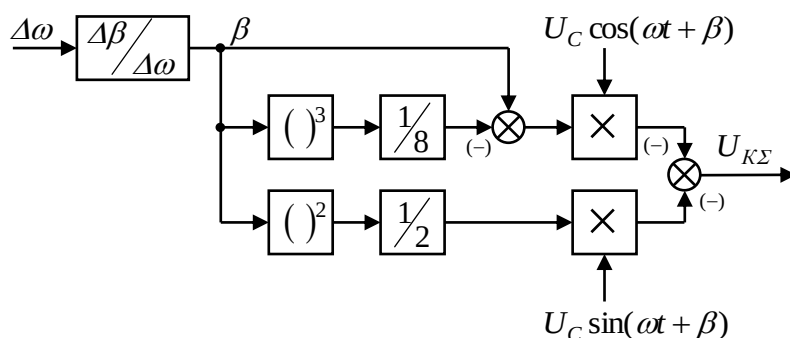


Рис. 4. Функциональная схема формирования сигнала компенсации фазового сдвига

Для исследования устройства управления на базе полосового фильтра, была разработана его модель в пакете Matlab Simulink, представленная на рис. 5. Модель показана для фазы «А», однако использует ряд блоков, входящих в каналы компенсации других фаз «В» и «С».

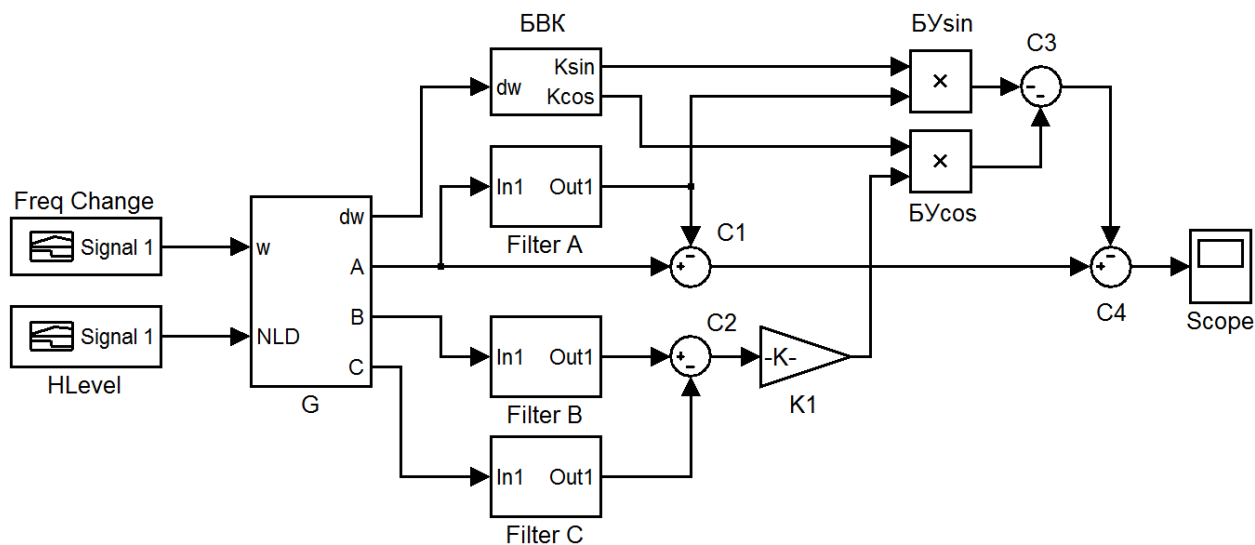


Рис. 5. Модель устройства управления

На задающий вход «w» синхронного генератора G поступает сигнал переменной скорости вращения, который формируется в о.е. блоком Freq Change. В результате на выходах «А», «В» и «С» генератора формируются фазные напряжения с изменяющейся частотой. Напряжение фазы «А» поступает на вход полосового фильтра Filter A, выходное напряжение которого в сумматоре C1 вычитается из напряжения сети. При этом на выходе C1 формиру-

ется сигнал суммы высших гармоник напряжения сети. Для исключения основной гармоники, появляющейся в нем при отклонении частоты, в модель введен канал компенсации фазового сдвига выходного напряжения фильтра, реализованный в соответствии с выражением (4). Сигнал отклонения скорости вращения генератора  $G$ , сформированный на выходе «dw», поступает на блок вычисления коэффициентов БВК. На его выходе формируются коэффициенты  $K_{\sin}$  и  $K_{\cos}$ , которые с помощью блоков умножения  $BY_{\sin}$  и  $BY_{\cos}$  дозируют синусоидальную и косинусоидальную составляющие сигнала компенсации. Последняя формируется как линейное напряжение между фазами «В» и «С» блоками Filter В, Filter С и сумматором С2. Применение фильтров позволяет исключить влияние высших гармоник напряжения на работу канала компенсации. Коэффициент  $K_1$  служит для приведения амплитуды линейного напряжения к амплитуде фазного напряжения сети. Результирующий сигнал компенсации формируется на выходе сумматора С3 и вычитается из сигнала суммы высших гармоник с помощью сумматора С4. Блок HLevel предназначен для задания уровня нелинейных искажений напряжения в о.е. от максимально возможного. Осциллограф Scope служит для визуализации результатов моделирования.

Критериями эффективности работы УУ являются точность выделения сигнала суммы высших гармоник и амплитуда, оставшейся в нем основной гармоники напряжения.

На рис.6а представлены результаты моделирования работы устройства управления при отклонении частоты сетевого напряжения (кривая 1). Из осциллограмм видно, что при работе УУ без канала компенсации фазового сдвига амплитуда основной гармоники значительно увеличивается (кривая 2). При увеличении и уменьшении частоты сетевого напряжения на 5%, амплитуда основной гармоники достигает 35% от номинального значения. Включение канала компенсации позволяет практически полностью подавить основную гармонику в выходном сигнале как в переходных, так и в установившихся режимах (кривая 3). Ее амплитуду можно оценить по осциллограммам, представленным на рис. 6, б, где показано задаваемое изменение частоты сетевого напряжения в сторону увеличения (кривая 1) и уменьшения (кривая 2) и соответствующее им изменение выходного напряжения УУ (кривая 3 и 4 соответственно). Из осциллограмм видно, что амплитуда основной гармоники при отклонении частоты на 5% в ту или другую сторону не превышает 0,5% от номинального значения в установившихся режимах и 1% в переходных. Отличия выходных напряжений УУ при увеличении и уменьшении частоты сетевого напряжения объясняется неточностью настройки параметров фильтра, а также некоторой нелинейностью его ФЧХ.

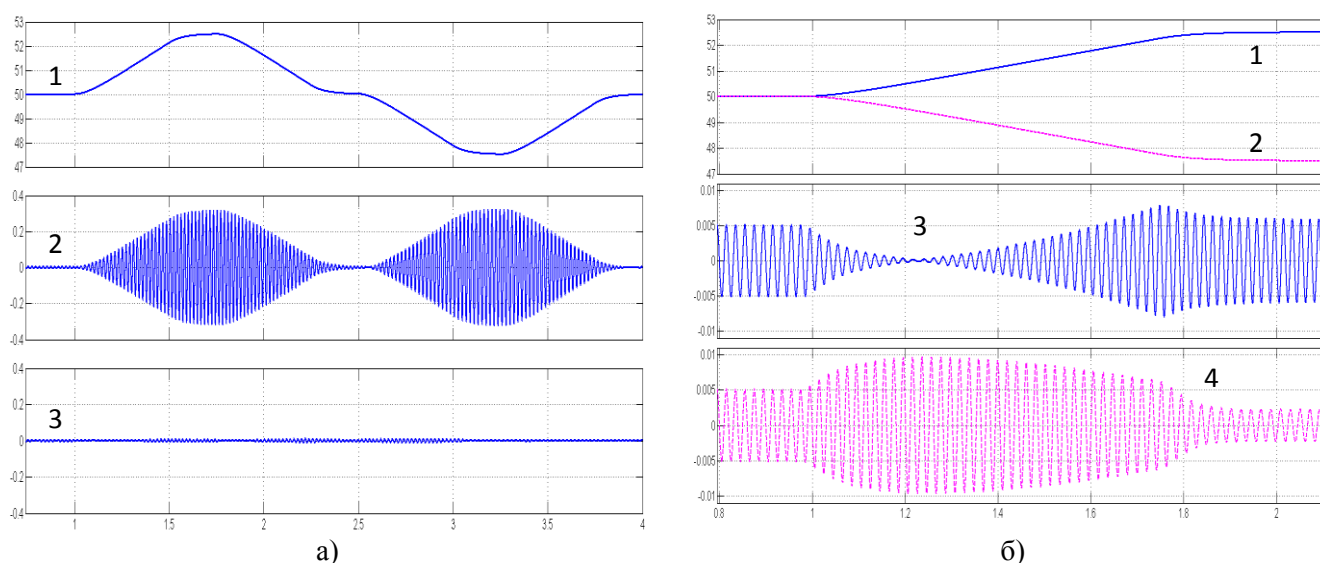


Рис. 6. Результаты моделирования работы УУ при отклонении частоты сетевого напряжения

На рис. 7 представлены результаты моделирования, позволяющие оценить точность работы устройства управления. Для этого к напряжению сети был добавлен сигнал (кривая 1), содержащий 5-ю, 7-ю, 11-ю и 13-ю гармоники, амплитуды которых составили 20, 14, 9 и 7,7% от основной гармоники соответственно. После вычитания из этого сигнала напряжения  $U_{\Sigma}$  (кривая 2) был получен сигнал разности (кривая 3), характеризующий неточность выделения сигнала суммы высших гармоник сетевого напряжения. Анализ сигнала разности показывает, что в нем присутствует основная гармоника, амплитуда которой составляет 0,02% от номинального значения, амплитуда 5-й гармоники составляет 0,015%, что соответствует ее подавлению фильтром 6-го порядка более чем в 1000 раз. Амплитуды более высоких гармоник в сигнале не фиксируются.

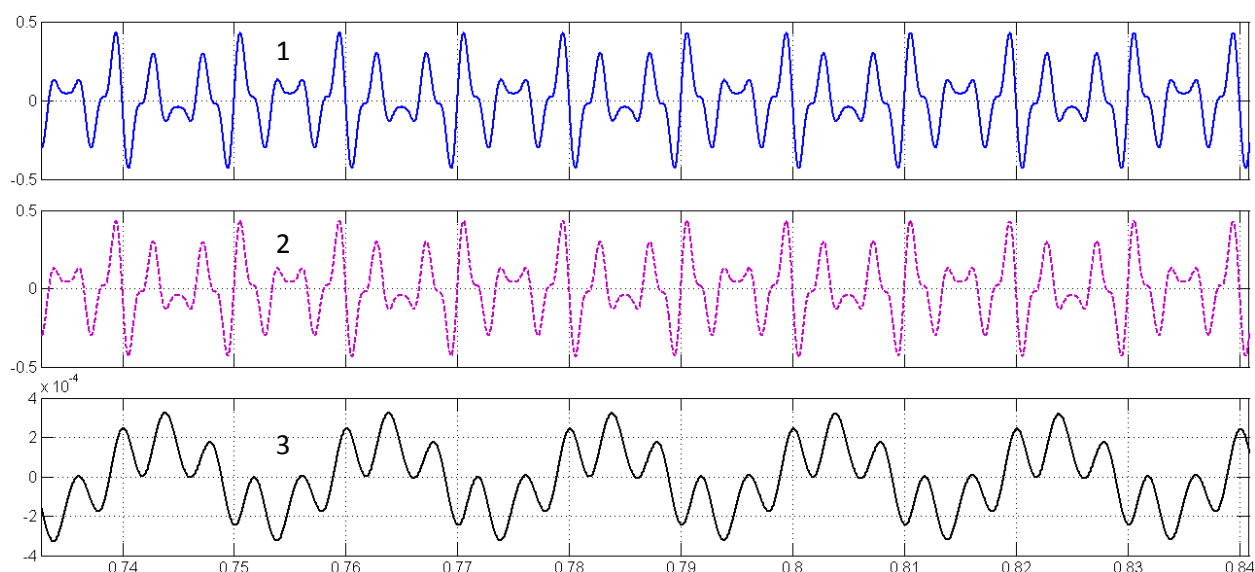


Рис. 7. Результаты моделирования при оценке точности выделения сигнала  $U_{\Sigma}$

Как показало моделирование, разработанное устройство управления на базе полосового фильтра позволяет получить достаточно высокую точность выделения сигнала суммы высших гармоник сетевого напряжения, а применение канала компенсации фазового сдвига обеспечивает работу устройства при отклонении частоты от номинального значения как в статических, так и в динамических режимах.

Использование предложенного устройства в вольтодобавочных компенсаторах нелинейных искажений позволит эффективно решать задачу повышения качества электроэнергии в сетях автономных электростанций, в том числе и судовых.

#### Библиографический список

1. **Коробко, Г.И.** Влияние высших гармоник на работу судового электрооборудования и способы их снижения / Г.И. Коробко, В.В. Лебедев // Великие реки'2011: 13-й Международный научно-промышленный форум, труды конгресса. – Н. Новгород, ННГАСУ.
2. **Анисимов, Я.Ф.** Особенности применения полупроводниковых преобразователей в судовых электроустановках / Я.Ф. Анисимов. – Л.: Судостроение, 1983. – 232 с.
3. **Коробко, Г.И.** Источник эталонного синусоидального напряжения, синхронизированного с сетью / Г.И. Коробко, С.В. Попов, В.В. Лебедев // Великие реки 2010: 12-й Международный научно-промышленный форум, труды конгресса. – Н. Новгород, ННГАСУ. 2011. Т. 2.

4. Лебедев, В.В. Анализ устройств выделения высших гармоник напряжения автономной электроэнергетической системы // Великие реки: труды 15-го международного научно-промышленного форума. – Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2013. Т. 2. – 382 с.

*Дата поступления  
в редакцию 04.02.2014*

**G.I. Korobko, V.V. Lebedev, S.V. Popov**

**ISOLATION OF NONLINEAR DISTORTION SIGNAL WHEN THE FREQUENCY  
AND THE AMPLITUDE OF SUPPLY VOLTAGE CHANGING.**

Volga state academy of water transport

**Purpose:** Designing and analysis of the isolation device of nonlinear voltage distortion signal in the autonomous electric power stations.

**Design/methodology/approach:** Analytical computation and simulation in Matlab Simulink.

**Findings:** The parameters of the compensation signal of the filter output voltage phase deviation are determined for a frequency changing of the supply voltage. The structural scheme and the model of the nonlinear distortion signal isolation device were developed.

**Originality/value:** The suggested device provides a precision isolation of the nonlinear distortion signal in case of static and dynamic operation of the autonomous electric power station. The developed model can be used in simulation of the nonlinear voltage distortion compensation devices.

*Key words:* autonomous electric power station, nonlinear voltage distortion, electric power quality, voltage frequency changing, voltage amplitude changing.



УДК 621.314

В.А. Тихомиров<sup>1</sup>, А.Н. Мальцев<sup>1,2</sup>**АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ  
ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА И SCADA СИСТЕМЫ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
ООО «ТМ», г. Нижний Новгород<sup>2</sup>

Рассмотрены вопросы создания комплексных автоматизированных систем удаленного диспетчерского контроля и управления для насосных станций. Основные задачи при автоматизации насосных станций – это повышение энергетической эффективности установленного оборудования, повышение надежности его функционирования и надежности всей сети водораспределения в целом на основе применения современных технических решений, современных принципов автоматизации, методов управления и сбора информации.

Предлагается несколько вариантов автоматизации для увеличения энергетической эффективности насосных станций. Приведен пример реализации системы удаленного диспетчерского контроля и управления насосной станцией в г. Егорьевск Московской области. Представлены возможные типы договорных отношений между сторонами.

*Ключевые слова:* комплексная автоматизация, повышение энергетической эффективности насосных станций, SCADA система, удаленный диспетчерский контроль, лизинг.

Объекты коммунального хозяйства (водоснабжение, канализация, отопление, освещение) характеризуются не столько сложностью алгоритмов управления, сколько требованием надежного распределенного и удаленного контроля и управления, формированием отчетов и архивов в едином удаленном диспетчерском пункте.

Внедрение автоматизированных систем удаленного диспетчерского контроля и управления становится все более актуальной задачей в связи с принятием федерального закона №261 от 23.11.2009 года - «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1].

Повышение энергетической эффективности установленного оборудования в основном базируется на возможности существенной экономии электроэнергии при строгом обеспечении заданных параметров работы насосных станций. Экономия электроэнергии достигается за счет применения для управления двигателями насосных станций преобразователей частоты. Методика расчета экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода для насосного агрегата достаточно хорошо проработана и неоднократно прошла проверку на модернизируемых насосных станциях [2]. Один из типовых графиков водопотребления приведен на рис. 1.

На диаграмме наблюдаются существенные колебания водопотребления в течение суток, поэтому целесообразность применения частотно-регулируемого электропривода для экономии электроэнергии на насосной станции вполне очевидна. Расчеты показывают, что ориентировочный срок окупаемости установки частотно-регулируемого электропривода составляет от одного до двух лет [2].

Современные способы решения задач по автоматизации базируются на применении 4-х компонентов:

- программируемых промышленных контроллеров;
- соответствующей системы датчиков;
- SCADA-системы;
- современных способов передачи информации.

Программируемые контроллеры выполняют обработку сигналов от датчиков, непосредственно формируют алгоритм управления и обеспечивают с помощью модема передачу информации на верхний уровень управления.

Измерительные датчики осуществляют сбор контролируемых сигналов; в настоящее время имеются датчики для контроля любых параметров.

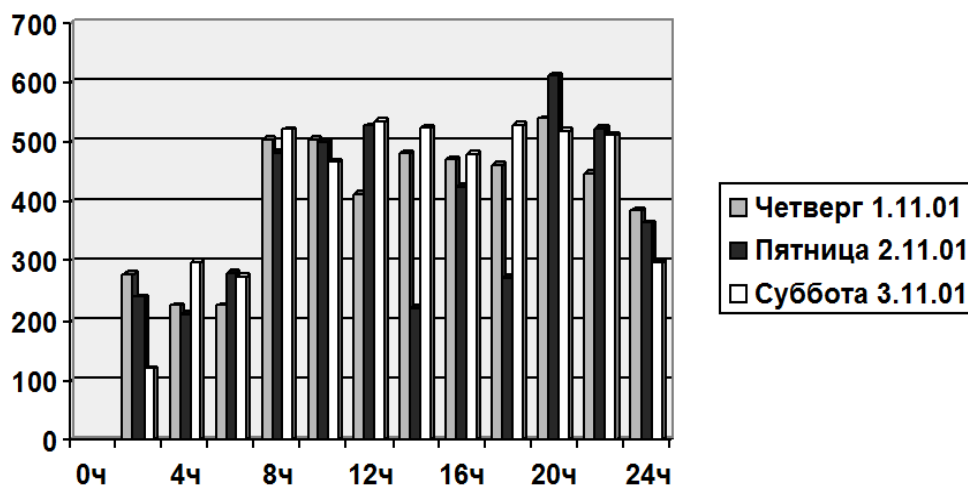


Рис. 1. График водопотребления

SCADA-система выполняет визуализацию данных на диспетчерском пункте, с помощью которых оператор (диспетчер) контролирует работу всей АСУ ТП, при необходимости выдает технологические команды или изменяет параметры автоматического управления. Понятие SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) системы расшифровывается как диспетчерское управление и сбор данных. Мы используем OpenSCADA систему, которая представляет собой открытую SCADA систему, построенную по принципам модульности, многоплатформенности и масштабируемости.

Для передачи информации между элементами системы автоматизации может использоваться традиционный проводной способ передачи информации с использованием дискретных и аналоговых входов контроллера или соответствующих встроенных интерфейсов контроллера. При распределенном и удаленном контроле и управлении могут использоваться GSM модемы, интернет, спутниковая связь.

Задача экономии электроэнергии при эксплуатации насосной станции может быть решена только за счет применения преобразователя частоты, который имеет встроенный ПИД-регулятор и обеспечивает поддержание заданного давления при переменном разборе воды потребителями. Но при этом невозможно решить множество других функций:

- переключение в автоматическом режиме уставки давления (например, «день-ночь»);
- обработка информации от аналоговых и цифровых датчиков, обеспечивающих контроль состояния режимов работы станции и состояния электродвигателя [3];
- плавный контролируемый разгон.

Реализация удаленного управления возможна только при применении связки промышленный контроллер – SCADA-система. При этом контроллер, кроме обработки информации от аналоговых и цифровых датчиков, организует связь между насосной станцией и удаленным диспетчерским пунктом (или административными структурами водоканала). Применяться может контроллер от любого производителя. Естественно, для передачи информации требуется дополнить контроллер GSM модемом, а на диспетчерском пункте должен быть доступ к сети Интернет.



Рис. 2. GSM модемы фирмы Siemens (слева) и ОБЕН (справа)

При таком построении системы автоматизации характер и объем передаваемой информации может быть существенно расширен. Например, очень интересна организация с помощью контроллера счетчика моточасов, на основе которого может быть построен график плановых ремонтов и график переключения работающих и резервных насосов.

SCADA-система является сложным программным продуктом [3], который разрабатывается под определенный объект, имеет индивидуальный графический интерфейс и устанавливается на обычный офисный компьютер. Мы используем бесплатную OpenSCADA-систему, имеющую открытый исходный код.

Наш выбор открытой некоммерческой версии SCADA системы обусловлен желанием максимально снизить затраты на модернизацию объекта. При использовании коммерческих вариантов SCADA-систем стоимость комплексного проекта автоматизации может существенно возрасти. С подробным описанием плюсов и минусов некоммерческой версии данных систем можно ознакомиться в [3].

Проектирование SCADA-системы начинается с разработки и настройки ее отдельных модулей. Первым модулем, с которого рекомендуется начинать разработку, является графический интерфейс. Сразу же следует отметить большой плюс бесплатной SCADA-системы – гибкость к пожеланиям заказчика. Также возможна разработка и внедрение собственных модулей в уже существующую систему. Другими словами, если заказчика не устраивает, к примеру, предлагаемая графическая реализация технического задания, то его можно откорректировать путем написания нового графического модуля с той графикой и мнемосхемами (совокупность сигнальных устройств и сигнальных изображений оборудования и внутренних связей контролируемого объекта), которая будет соответствовать его пожеланиям.

После проработки и согласования визуального представления проекта необходимо организовать связь между SCADA-системой и контроллером с GSM-модемом. Организация связи между данными элементами подробно разобрана в [4]. Для приема данных от удаленного объекта требуется организовать сервер со статическим IP-адресом (обычно данную услугу предоставляет любой интернет-провайдер за дополнительную плату). Далее настраивается протокол самой SCADA-системы на прием данных от удаленного объекта. Для этого необходимо выделить порт для приема данных, тип данных и протокол обмена. В большинстве случаев используется протокол ModBus TCP/IP, модуль которого уже заведомо создан в начальной версии SCADA-системы. При желании, если идет сопряжение с новым или не совсем известным оборудованием, которое имеет нестандартные (либо свои) протоколы обмена, то в систему можно также добавить разработанный под данную цель модуль, позволяющий обмениваться данными с конкретным оборудованием. Данный аспект также мож-

но отнести к преимуществу открытой SCADA-системы, так как открыта возможность работы с любыми марками и типами оборудования.

Коммерческие SCADA-системы создаются в основном на конкретный спектр приборов и устройств, а корректировка такой системы под частный случай может стоить намного дороже, нежели покупка непосредственно поддерживаемого оборудования. В нашем случае возможности интеграции любого оборудования, с учетом пожеланий и возможностей заказчика, практически безграничны.

Данные поступают на сервер с установленной SCADA-системой в виде 8-ми битовых регистров (пакетов). В зависимости от типа данных их требуется обработать соответствующим образом. К примеру, один из поступающих на сервер пакетов может нести в себе состояние 8-ми логических переменных, таких как наличие питания, проникновение на объект, затопление объекта и т.п. Соответственно данный регистр должен быть разделен на биты. С другой стороны, такие величины как электроэнергия, расход, количество отработанных моточасов являются интегральными и предел накопления соответствующих значений должен как минимум соответствовать пределу их аппаратной части. В данном случае требуется операция объединения приходящих пакетов в 16-ти и 32-х битные регистры для получения большей разрядности числовых измерений.

Следует сказать несколько слов о контроле параметров объекта и управлении ими. Удаленный контроль осуществляется посредством слежения за состоянием соединения модема и сервера, передачи данных между ними и их непосредственным контролем. Удаленное управление объектом происходит таким же образом, как и передача данных. Для этой цели используется та же команда (AT+CIPSEND), которая посылается в модем, меняются только данные в команде в соответствии с требованиями протокола ModBus. Соответственно через некоторое время контроллер должен прочитать полученный с сервера ответ, расшифровать его и обработать действия оператора, если таковые имели место быть.

Неправильно будет не сказать о элементах безопасности при передаче данных. Каким бы ни был управляемый объект, данные, который передаются от него на диспетчерский пункт, могут носить конфиденциальный характер, поэтому их следует защитить от злоумышленников. Для этих целей в данной структуре используются шифрование трафика и система аутентификации (логин/пароль) с распределением полномочий.

После приема данных сервером их необходимо обработать и обеспечить сопряжение с соответствующей графической частью, для того чтобы оператор (диспетчер) мог наблюдать и управлять процессом в режиме реального времени. В дереве OpenSCADA-системы имеется около 10 модулей для обработки полученных данных. Наиболее простым является блок-контроллер. Это модуль, на вход которого поступают какие-либо значения (логические, текстовые, числовые и т.д.), внутри пишется программа, необходимая для обработки поступивших величин, а на выходе получается результат, который непосредственно можно передавать в среду визуализации.

После объединения всех необходимых модулей программным кодом (скриптом), мы получаем визуальное представление удаленного объекта непосредственно на нашем рабочем столе. Кроме основных контролируемых параметров на насосных станциях, большое внимание уделяется времени работы оборудования и проведению планово-предупредительных ремонтов. Для этого в SCADA-систему из контроллера передаются данные о моточасах, наличии потока жидкости или газа, токах нагрузки и температуре двигателей и прочее. На основе вышеперечисленных данных строятся графики состояния оборудования, глядя на которые диспетчер заведомо может спланировать ремонт насоса, предотвратить перегрев обмоток двигателя. Но, тем не менее, система строится таким образом, что в случае безответственного отношения со стороны диспетчера, либо ввиду отсутствия соответствующего опыта, она сама предупредит его о необходимых действиях в случае возникновения предельно допустимой ситуации. Другими словами, строится иерархическая защита не только от непредвиденных ситуаций, но и от человеческого фактора. Каждый человек может вести себя по-

разному в критические моменты (паника, ошибки, бездействие), система с четким проработанным алгоритмом будет жестко следовать установленному направлению в любой ситуации.

Еще одним немаловажным атрибутом системы является архивирование событий, происходящих на объекте. Вместе с этим архивируются и действия оператора, поэтому в протоколе событий явно будет отражено, кто и в какое время производил изменения в системе, как реагировал на аварийные ситуации. Более того, система сохранит в архиве необходимые заказчику значения величин электроэнергии, расхода, давления, тока, скорости вращения и др. Также на основе архивов данных могут быть автоматически построены графики потребления. Анализ этих графиков позволит снизить пики нагрузки, предотвратить нежелательные режимы работы и вести соответствующий учет ресурсов.

В результате всей проделанной работы получаем гибкий комплексный проект, который можно установить не только на компьютер, но и на ЖК дисплей, расположенный непосредственно на электрическом шкафу, на планшет и смартфон. Эта гибкость и простота интерфейса управления позволит контролировать объект в любой момент времени из любой точки земного шара.

На рис. 3 представлен рабочий вариант пользовательского интерфейса насосной станции водоснабжения в г. Егорьевск Московской области [4].

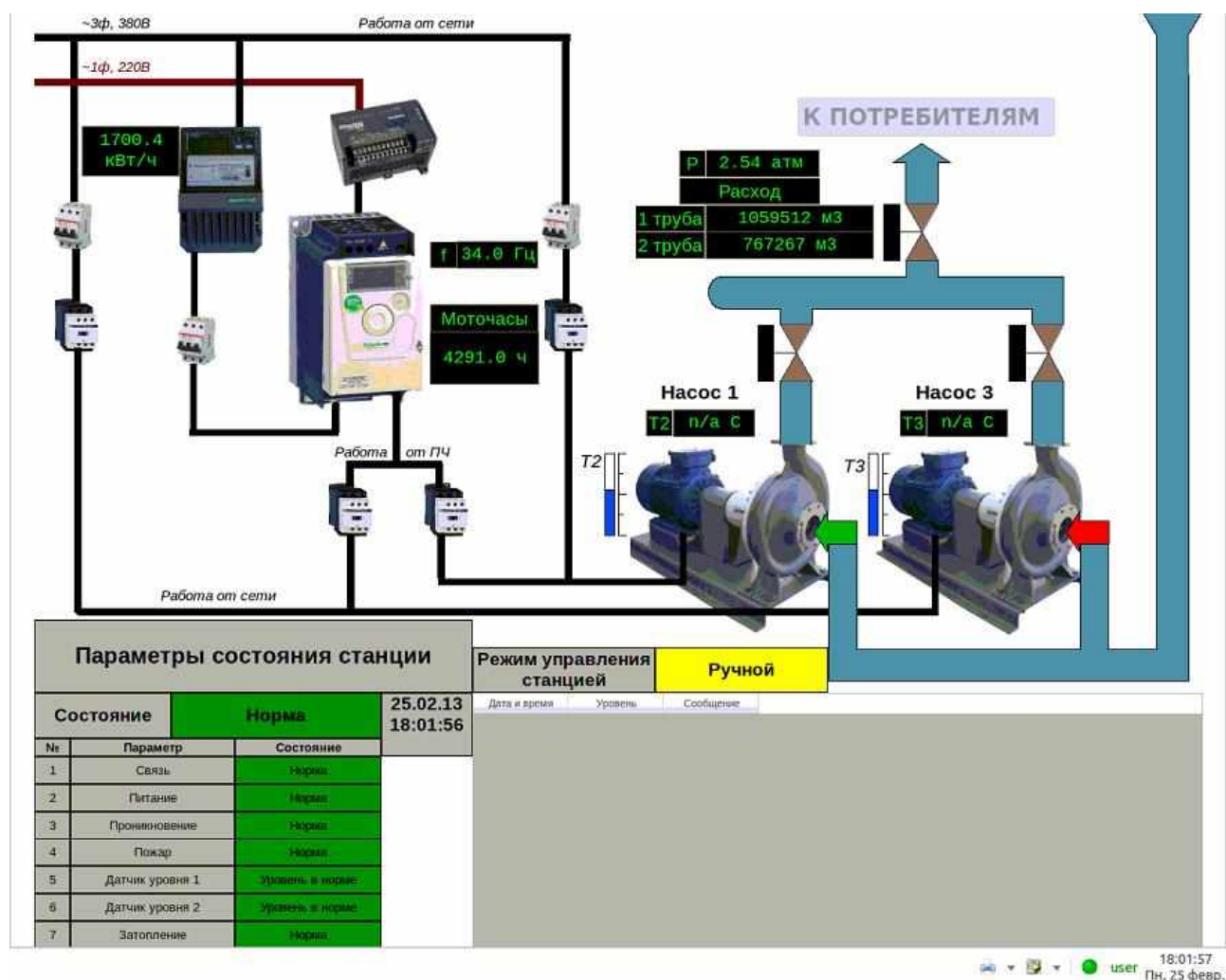


Рис. 3. Пользовательский интерфейс насосной станции г. Егорьевск Московской области

Применение комплексной системы автоматизации на насосной станции практически показала эффективность применения частотного управления насосами, что позволило значи-

тельно сократить затраты предприятия на электроэнергию. Применение SCADA системы позволило снизить затраты на человеко-ресурсы, увеличить оперативность контроля, управления и обеспечить своевременность планово-предупредительных ремонтов. Более того, комплексное применение автоматизации всего предприятия позволяет продлить срок службы оборудования, что снижает амортизационные затраты предприятия.

### Выводы

1. Показана необходимость и предложено комплексное решение в вопросе энергоэффективности при помощи построения АСУ ТП на базе SCADA системы.
2. Продемонстрирована практическая разработка открытой SCADA системы.
3. Применение АСУ ТП на базе SCADA системы для насосной станции подтвердила высокую эффективность подобных систем.
4. Показаны возможные договорные отношения при проведении комплексной автоматизации предприятия

### Библиографический список

1. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ.
2. **Тихомиров, В.А.** Техничко-экономическое обоснование применения преобразователей частоты для насосной станции / В.А. Тихомиров, Ф.Ф. Юрлов, Г.М. Мирясов // Актуальные проблемы электроэнергетики. Труды НГТУ. – Нижний Новгород, 2007. Т. 66. С. 151–154.
3. **Тихомиров, В.А.** Система автоматического управления насосной станцией на основе открытой SCADA системы OpenSCADA / В.А. Тихомиров, В.В. Кардаш, Г.В. Свердлик // Актуальные проблемы электроэнергетики. Труды НГТУ. – Нижний Новгород 2009. Т. 77. С. 83–87.
4. **Мальцев, А.Н.** Автоматические системы удаленного диспетчерского контроля и управления на основе SCADA системы / А.Н. Мальцев, В.А. Тихомиров // Актуальные проблемы электроэнергетики. Труды НГТУ. – Нижний Новгород, 2012. С. 137–141.
5. Автоматизация насосных станций // Сборник материалов на сайте: <http://www.profinnov.ru>

*Дата поступления  
в редакцию* 03.02.2014

**V.A. Tihomirov<sup>1</sup>, A.N. Maltsev<sup>1,2</sup>**

### AUTOMATION OF PUMPING STATION BASED ON PLC AND SCADA SYSTEM

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>,  
«ТМ» Ltd<sup>2</sup>

The questions of development of complex automated systems of remote Supervisory control and management for the pumping stations. The main tasks for the automation of pumping stations - an increase in energy efficiency of the installed equipment, increase of reliability of its functioning and reliability of the entire network distribution of water in the whole on the basis of application of modern technical solutions, modern principles of automation, management and collection of information. Is suggested several variants of automation to increase the energy efficiency of the pumping stations. Shows an example of a system of remote control of the control and management of pump station in the city Yegoryevsk, Moscow region. Presented the possible types of contractual relations between the parties.

**Keywords:** integrated automation, increasing the energy efficiency of the pumping stations, SCADA system, remote control, leasing.

УДК 621.311.26

Е.Н. Соснина, Д.А. Филатов

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ  
ПО ЭНЕРГОУСТАНОВКАМ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,

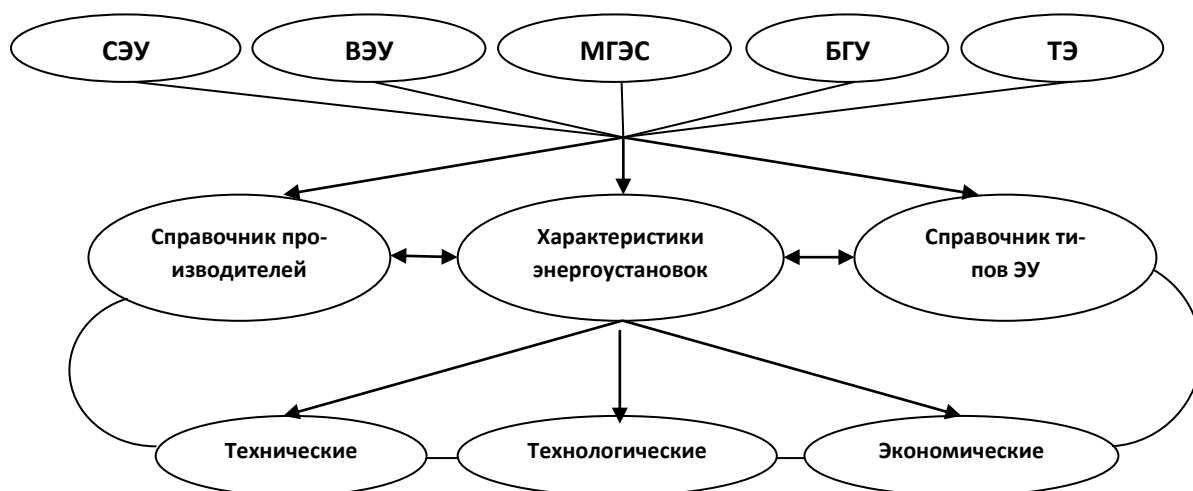
Рассмотрен вопрос оптимизации выбора энергоустановок на возобновляемых источниках энергии при проектировании новых и реконструкции действующих систем электроснабжения потребителей.

*Ключевые слова:* энергоустановки, возобновляемые источники энергии, база данных.

Развитие возобновляемой энергетики является одним из главных приоритетов государственной энергетической политики современной России [1]. К возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) в Российской Федерации относят энергию солнца, ветра, воды (малых рек, приливов, волн), биомассу, геотермальную энергию, низкопотенциальную тепловую энергию, а так же отходы производства и потребления (за исключением отходов, полученных в результате использования углеводородного сырья и топлива) [2].

Проектирование новых и модернизация действующих энергокомплексов с использованием возобновляемых источников энергии неизбежно связаны с проблемой выбора энергетического оборудования. При этом должны быть учтены многие факторы (климатические условия, эксплуатационные характеристики оборудования, ценообразование). С развитием технологий ВИЭ и ростом количества фирм-производителей задача выбора энергетического оборудования, оптимально соответствующего заданным критериям, становится сложнее и вместе с тем актуальнее. Основная проблема – информационный разброс широкой номенклатуры современных энергоустановок на возобновляемых источниках энергии (ЭУ на ВИЭ), увеличивающий человеческие ресурсы и временные затраты, что неизбежно влияет на сроки исполнения и качество проектов.

Для решения задачи оптимизации выбора ЭУ на ВИЭ при проектировании новых и реконструкции действующих систем электроснабжения потребителей авторами разработана автоматизированная информационная база данных (БД) ЭУ на ВИЭ, структура которой приведена на рис. 1.

**Рис. 1. Структура БД ЭУ на ВИЭ**

База данных содержит информацию о характеристиках более 1000 современных энергоустановок различных фирм-производителей и включает пять разделов:

1. Солнечные электрические установки (СЭУ).
2. Ветровые энергетические установки (ВЭС).
3. Гидротурбины для малых гидроэлектростанций (МГЭС).
4. Биогазовые установки (БГУ).
5. Топливные элементы (ТЭ).

Каждый раздел информационной БД содержит справочники фирм-производителей, типов и характеристик энергоустановок [3]. В табл. 1 перечислены технические, технологические и экономические характеристики ЭУ на ВИЭ, представленные в БД.

**Таблица 1**

**Характеристики энергоустановок на возобновляемых источниках энергии БД**

| Раздел БД | Технические                                                                                                                                         | Технологические                                                                                                                 | Экономические                                                                                                                                           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ВЭУ       | 1.Номинальная мощность<br>2.Минимальная скорость ветра<br>3.Номинальная скорость ветра<br>4.Коэффициент полезного действия<br>5.Диаметр ветроколеса | 1.Высота башни<br>2.Номинальная частота оборотов ветротурбины<br>3.Выходное напряжение<br>4.Предельно допустимая скорость ветра | 1.Стоимость ВЭУ<br>2.Установка башни<br>3.Сооружение фундамента<br>4.Монтажные и пусконаладочные работы<br>5.Покупка выпрямителя<br>6.Покупка инвертора |
| СЭУ       | 1.Номинальная мощность<br>2.Коэффициент полезного действия<br>3.Габариты (длина, ширина)                                                            | 1.Рабочий ток<br>2.Ток короткого замыкания<br>3.Напряжение холостого хода<br>4.Масса                                            | 1.Стоимость СЭУ<br>2.Покупка инвертора<br>3.Монтажные и пусконаладочные работы                                                                          |
| МГЭС      | 1.Номинальная мощность<br>2.Напор (номинальный)<br>3.Расход воды                                                                                    | 1.Частота вращения ротора<br>2.Номинальное выходное напряжение<br>3.Номинальная частота тока                                    | 1.Стоимость гидроагрегата<br>2.Проектирование.<br>3.Строительство<br>4.Пусконаладочные работы                                                           |
| БГУ       | 1.Объем реактора (исходного сырья)<br>2.Производительность биогаза<br>3.Производительность электроэнергии                                           | 1.Производительность удобрений<br>2.Занимаемая площадь                                                                          | 1.Стоимость БГУ<br>2.Проектирование<br>3.Строительство<br>4.Пусконаладочные работы                                                                      |
| ТЭ        | 1.Номинальная мощность<br>2.Коэффициент полезного действия<br>3.Номинальный расход топлива<br>4.Номинальный расход воды                             | 1.Вид используемого топлива<br>2.Масса.<br>3.Габариты<br>4.Вид размещения                                                       | 1.Стоимость ТЭ<br>2.Покупка преобразователя<br>3.Монтажные и пусконаладочные работы                                                                     |

Для работы с информационной БД по ЭУ на ВИЭ создан программный комплекс [4], позволяющий корректировать, дополнять и удалять информацию, проводить сортировку ЭУ, осуществлять автоматический поиск ЭУ по названию, типу или уровню характеристики и др. На рис. 2 показано рабочее окно программного комплекса.

Важнейшей функциональной составляющей БД по ЭУ на ВИЭ является возможность сравнительного анализа энергоустановок и наглядная его демонстрация в виде гистограмм. Методика сравнительного анализа [5] основана на нахождении уровня влияния (ценности) критерия для достижения наилучшего результата в заданных условиях. Основой разработан-



ной методики сравнительного анализа является метод взвешенных сумм критериев [6, 7]. Для повышения объективности и когнитивности метод был модернизирован.

Реализация методики сравнительного анализа ЭУ на ВИЭ включает шесть основных этапов [8].

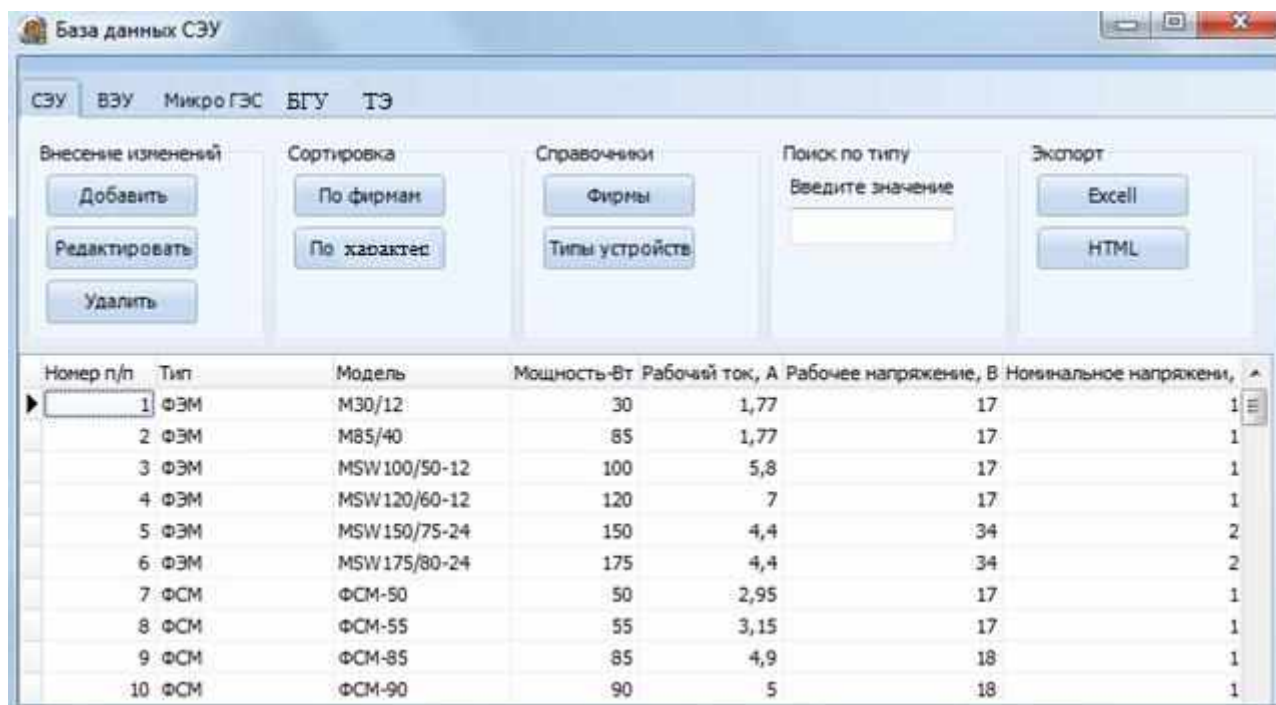


Рис. 2. Рабочее окно программного комплекса БД ЭУ на ВИЭ

*Этап 1.* Непосредственная оценка характеристик ЭУ.

Непосредственная оценка представляет собой процедуру приписывания характеристикам числовых значений в шкале интервалов. Эквивалентным характеристикам приписывается одно и то же число. Для ЭУ на ВИЭ непосредственная оценка характеристики уже определена заводом-изготовителем в виде конкретного числа.

*Этап 2.* Приведение оценок объектов по характеристикам к безразмерному виду.

Приведение оценок выполняется в зависимости от вида и направленности критерия. Для критериев, подлежащих максимизации, все оценки объектов по данному критерию делятся на максимальную оценку. Для критериев, подлежащих минимизации, из оценок по данному критерию выбирается минимальная, и она делится на все оценки объектов по данному критерию.

*Этап 3.* Определение коэффициентов ценности (КЦ), отражающих разброс оценок.

КЦ определяются в следующем порядке.

- Проводится расчет средних оценок по  $i$ -й характеристике:

$$P_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{j=1}^N P_{ij}, i = 1, \dots, M, \quad (1)$$

где  $M$  – количество характеристик;  $N$  – количество ЭУ;  $P_{ij}$  – безразмерные оценки.

- Определяются величины разброса по  $i$ -й характеристике:

$$R_i = \frac{1}{N \cdot P_i} \cdot \sum_{j=1}^N |P_{ij} - P_i|, i = 1, \dots, M. \quad (2)$$

- Находится сумма величин разброса:

$$R = \sum_{i=1}^M R_i. \quad (3)$$

- Определяются коэффициенты ценности, отражающие разброс оценок:

$$Z_i = \frac{R_i}{R}, i = 1, \dots, M. \quad (4)$$

Чем больше разброс (различие) в оценках ЭУ по критерию (характеристике), тем больше вес этого критерия.

*Этап 4.* Определение взвешенных оценок объектов:

$$E_{ij} = P_j \cdot Z_i, i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, N. \quad (5)$$

*Этап 5.* Комплексная оценка объектов (расчет суммы взвешенных оценок):

$$E_j = \sum_{i=1}^M E_{ij}, j = 1, \dots, N. \quad (6)$$

*Этап 6.* Использование функции полезности [8] при наличии внешних факторов (заданный характер электрических нагрузок потребителей, место размещения ЭУ, приоритетность заказчика при различных видах ЭУ на ВИЭ при финансировании и т.д.).

Выбор решения при известных вероятностях внешних условий называется принятием решения в условиях риска. При этом применяется критерий Байеса – критерий максимума среднего выигрыша. Для каждой альтернативы находится средняя обобщенная мера полезности с учетом вероятностей внешних условий:

$$Y_j = \sum_{\mu=1}^L Q_j^{\mu} \cdot P_{\mu}, j = 1, \dots, N, \quad (7)$$

где  $P_{\mu}$  – вероятность внешних условий.

В случаях, когда вероятность внешних условий неизвестна, выбор решения принимается в условиях неопределенности. При этом возможно несколько вариантов решений.

1. Решение на основе предположения о том, что все варианты внешних условий равновероятны – критерий Лапласа. В данном случае для каждой альтернативы находится средняя обобщенная мера полезности:

$$Y_j = \frac{1}{L} \cdot \sum_{\mu=1}^L Q_j^{\mu}, j = 1, \dots, N. \quad (8)$$

2. Критерий Вальда. Решение принимается в расчете на худший вариант внешних условий. Для каждой альтернативы находится минимальная обобщенная мера полезности:

$$Y_j = \min Q_j^{\mu}, j = 1, \dots, N. \quad (9)$$

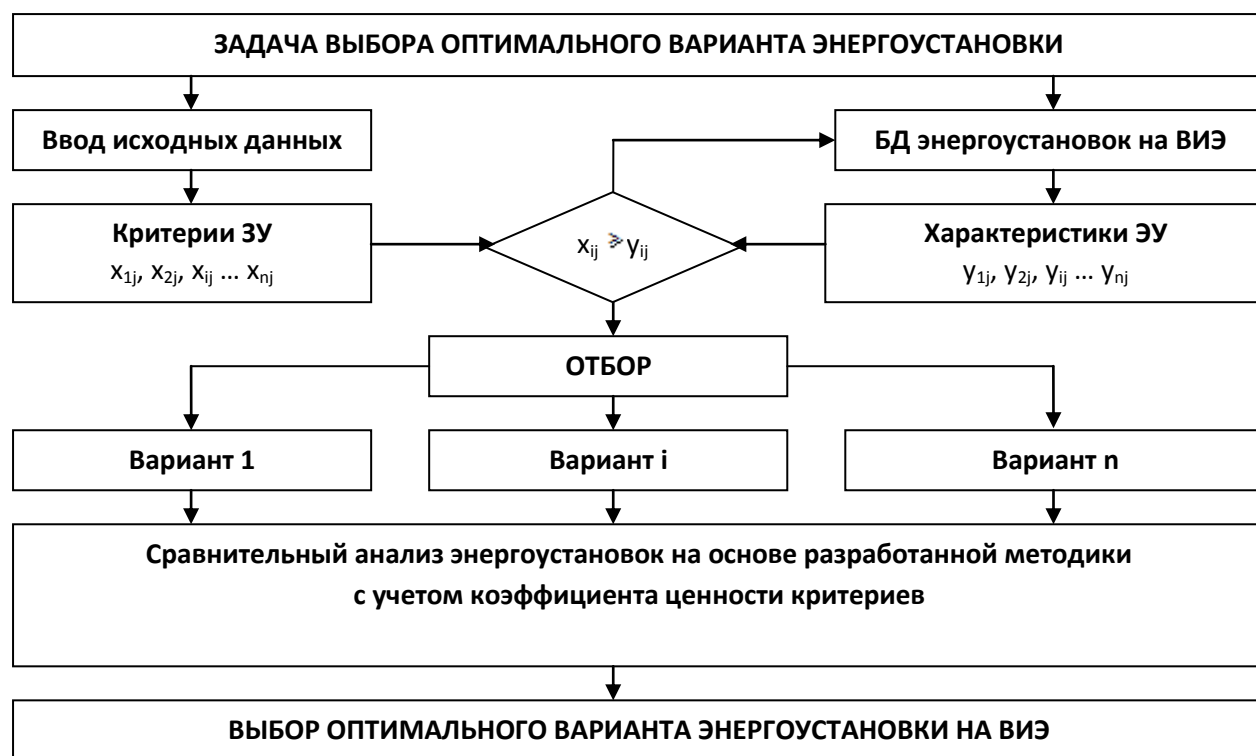
3. Критерий Гурвица. Решение принимается с учетом возможности как благоприятных, так и неблагоприятных внешних условий. Для каждой альтернативы находится обобщенная мера полезности, в которой учитываются оценки, как для наилучших, так и для наихудших внешних условий:

$$Y_j = a \cdot \min Q_j^{\mu} + (1-a) \cdot \max Q_j^{\mu}, j = 1, \dots, N, \quad (10)$$

где  $a$  – коэффициент пессимизма ( $0 \leq a \leq 1$ ), выбираемый из субъективных соображений. Значение коэффициента пессимизма тем больше, чем больше требуется учитывать возможность неблагоприятных условий.

Функция полезности может применяться при принятии решений в условиях определенности, т.е. когда внешние условия точно известны. В этом случае достаточно найти обобщенные оценки полезности альтернатив только для указанного варианта внешних условий.

Иерархическая модель выбора оптимального варианта ЭУ на ВИЭ при заданных условиях на основе разработанной базы данных представлена на рис. 3.



**Рис. 3. Иерархическая модель выбора оптимального варианта ЭУ на ВИЭ при заданных условиях на основе БД**

Широкая номенклатура современных энергоустановок, представленных в информационной базе данных, возможность их автоматизированного поиска и проведения сравнительного анализа позволяет оптимизировать процесс выбора энергоустановок, тем самым повышая эффективность проектирования энергетических комплексов с ВИЭ и систем электроснабжения потребителей.

#### Библиографический список

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года / Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 года № 1715-р.
2. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с осуществлением мер по реформированию Единой энергетической системы России. - №250-ФЗ от 4 ноября 2007 г.: федер. закон: [принят Гос. Думой 18 октября 2007 г.: одобр. Советом Федерации 26 октября 2007 г.].
3. **Соснина, Е.Н.** Разработка базы данных по альтернативным источникам электроэнергии / Е.Н. Соснина, А.А. Петров, Д.А. Филатов // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2009. Т. 77. С. 183–188.
4. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2013617735. Автоматизированная система поиска энергоустановок на возобновляемых источниках энергии / Соснина Е.Н., Филатов Д.А., Сушенков Д.А. –№2013615368; заявл. 27.06.2013.
5. **Соснина, Е.Н.** Разработка методики сравнительного анализа энергоустановок на возобновляемых источниках энергии / Е.Н. Соснина, Д.А. Филатов // Актуальные проблемы электроэнергетики: сборник научно-технических статей; НГТУ. – Н. Новгород, 2013. С. 87–91.
6. **Подинковский, В.В.** Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериальных решений: PRO ET CONTRA / В.В. Подинковский, М.А. Потапов // Бизнес-информатика. 2013. №3. С. 41–48.
7. **Батищев, Д.И.** Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений / Д.И. Батищев, Д.Е. Шапошников. – Н. Новгород: ИПФ РАН, 1994. – 92 с.

8. Гудков, П.А. Методы сравнительного анализа: учеб. пособие / П.А. Гудков. – Пенза: Изд-во Пенз. ГУ, 2008. – 81 с.

*Дата поступления  
в редакцию 06.02.2014*

**E.N. Sosnina, D.A. Filatov**

## **AUTOMATED INFORMATION DATABASE POWER INSTALLATIONS ON RENEWABLE ENERGY**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Due to the poor state of Russia's electric power and environmental degradation requires the use of advanced technologies aimed at using renewable energy sources.

**Design / methodology / approach:** Offers automated information database of power plants using renewable energy sources, using statistical treatment and comparative analysis.

**Results:** The proposed software system is designed to improve the efficiency of both new construction and reconstruction of power systems using renewable energy sources.

**Restrictions / value research:** This database provides the need for further research in the development of renewable energy technologies.

**Novelty / value:** An automated database EVIE increase the efficiency of building energy systems with renewable energy sources on the basis of their main advantages: a wide range of renewable energy sources, the possibility of an automated search of the EC and their comparative analysis.

*Key words:* power plant, renewable energy, database.

## МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.745.334:669.13:662.69

В.Н. Гуцин, В.А. Ульянов

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАЗВИТИЕ ДВУХФАЗНОЙ ЗОНЫ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Произведена оценка влияния на развития двухфазной зоны теплового экранирования слитков, электрогидроимпульсной обработки расплава и создания вращательных моментов в жидкой фазе при использовании безнапорных разливочных стаканов со смещёнными выходными каналами.

Приведена методика расчёта двухфазной зоны с учётом внешних воздействий. Данная методика позволяет прогнозировать влияние внешних воздействий на динамику формирования слитков и отливок при изменении теплоотдачи от жидкой фазы. Произведена оценка влияния на развитие двухфазной зоны теплового экранирования слитков и создание вращательных моментов в жидкой фазе при использовании безнапорных разливочных стаканов со смещёнными выходными каналами.

*Ключевые слова:* двухфазная зона, внешние воздействия, разливочные стаканы, непрерывная разливка, стальные заготовки.

Нестационарная теплопроводность двухфазной зоны (ДЗ) описывается уравнением Фурье с распределёнными внутренними источниками теплоты. Эту задачу можно расширить, вводя в уравнение, кроме скрытой теплоты кристаллизации, параметры, характеризующие подвод энергии и изменение условий теплообмена при статических и динамических внешних воздействиях на расплав. К числу таких воздействий относятся: изменение условий теплообмена при тепловом экранировании (ТЭ) слитков [1-3]; электрогидроимпульсная обработка (ЭГИО) расплава [1-2, 4]; создание вращательных моментов в жидкой фазе непрерывнолитых заготовок при использовании безнапорных разливочных стаканов со смещёнными выходными отверстиями [1, 5] или при электромагнитном перемешивании и др.

Если пренебречь различием плотностей твёрдой и жидкой фаз, которое для сталей с содержанием углерода от 0,2 до 0,4% не превышает 4,5%, то в общем случае уравнение теплопроводности ДЗ после преобразования в безразмерном виде будет [1]:

$$\partial \theta_{ж-т} / \partial Fo = \partial^2 \theta_{ж-т} / \partial X^2 + N_1^{-1} (1 - \chi) \partial W / \partial Fo, \quad (1)$$

где  $Fo = a\tau / X_o^2$  – число подобия Фурье;  $X = x / X_o$ ;  $N_1 = C(t_l - t_c / Q_o)$  – аналог числа подобия фазового перехода;  $\chi = \lambda_t Nu \theta_n / (\lambda_{ж} Bi \theta_c)$ ;  $\theta_n, \theta_c$  – безразмерные температуры поверхности и перегрева расплава;  $Nu = \alpha_{ж} X_o / \lambda_{ж}$  – число подобия Нуссельта;  $Bi = \alpha_t X_o / \lambda_t$  – число подобия Био;  $W$  – доля твёрдой фазы;  $\partial W / \partial \tau$  – темп выделения твёрдой фазы,  $X_o$  – характерный размер (ширина ДЗ).

Перейдём в систему координат, перемещающихся вместе с изотермой солидуса со скоростью  $U$ . Скорость продвижения изотермы солидуса можно определить либо на физической модели [1-2], либо расширением математической модели, образуя систему уравнений с учётом теплопроводности затвердевшей корки и теплообмена в системе «слиток (заготовка) – форма – окружающая среда» [1, 6].

В новой системе координат относительное время и координата будут иметь вид:

$$Fo^* = Fo, \quad X^* = X - Pe^*, \quad (2)$$

где  $Pe^* = \nu X_o / a$  – аналог числа подобия Пекле.

В новой системе координат получаем, опуская индексы ж-т,

$$\partial^2 \theta / \partial X^2 = \partial^2 \theta / \partial X^{*2}; \quad \partial \theta / \partial Fo = -Pe^* \partial \theta / \partial X^* + \partial \theta / \partial Fo^*,$$

где считаем  $\partial \theta / \partial Fo^* = 0$  и  $\partial W / \partial Fo = Pe^* \partial W / \partial X^*$ . (3)

Таким образом, опуская звёздочки, получаем следующее уравнение теплопроводности ДЗ:

$$\partial^2 \theta / \partial X^2 + Pe \partial \theta / \partial X + N^{-1} Pe (1 - \chi) \partial W / \partial X = 0. \quad (4)$$

Долю твёрдой фазы представим в виде степенной функции

$$W = (x / X_o)^n = X^n, \quad \partial W / \partial X = n X^{n-1} \text{ и вводя обозначение } A = N^{-1} (1 - \chi) n,$$

получаем

$$\partial^2 \theta / \partial X^2 + Pe \partial \theta / \partial X + A Pe^{n-1} = 0 \quad (5)$$

Производя дополнительную замену переменной  $Z = \partial \theta / \partial X$ , имеем уравнение

$$Z' + Pe Z + A Pe X^{n-1} = 0, \quad (6)$$

решение которого в общем случае будет

$$Z = e^{-PeX} (C_1 - A Pe \int X^{n-1} e^{PeX} dX). \quad (7)$$

В частном случае, например при  $n = 2$ , что соответствует железоуглеродистому сплаву с содержанием углерода 0,8%, получаем

$$Z = C_1 e^{-PeX} - A Pe (X Pe^{-1} - Pe^{-2}). \quad (8)$$

Принимая граничные условия

$$\begin{cases} -\partial \theta / \partial X \big|_{X=1} = Q_{\text{ж}} & \text{на границе ликвидуса} \\ -\partial \theta / \partial X \big|_{X=0} = Q_{\text{т}} & \text{на границе солидуса,} \end{cases} \quad (10)$$

где  $Q_{\text{ж}} = q_{\text{ж}} X_o / \lambda_{\text{ж}} (t_{\text{л}} - t_{\text{с}})$  и  $q_{\text{ж}} = \alpha_{\text{ж}} (t_{\text{ж}} - t_{\text{с}})$  – относительный тепловой поток и плотность теплового потока от жидкого металла к фазовой границе;  $Q_{\text{т}} = q_{\text{т}} X_o / \lambda_{\text{т}} (t_{\text{с}} - t_o)$  и  $q_{\text{т}} = \alpha_{\text{т}} (t_{\text{с}} - t_o)$  – относительный тепловой поток и плотность теплового потока от затвердевшей корочки  $\xi$ . Тогда

$$\begin{aligned} \partial \theta / \partial X = Z &= C_1 e^{-PeX} - A (A - Pe^{-1}); \quad \theta = -C_1 e^{-PeX} Pe - 0,5 A X^2 + A X Pe^{-1} + C_2; \\ Q_{\text{ж}} &= -C_1 e^{-Pe} + A (1 - Pe^{-1}); \quad C_1 = [A (1 - Pe^{-1}) - Q_{\text{ж}}] e^{Pe}; \\ \theta &= Pe^{-1} (-A + A Pe^{-1} + Q_{\text{ж}}) e^{Pe(1-\chi)} - 0,5 A X^2 + A X Pe^{-1} + C_2. \end{aligned} \quad (10)$$

Определяя  $C_2$ , получим выражение для  $\theta$ :

$$C_2 = Pe^{-1} C_1 = Pe^{-1} [A (1 - Pe^{-1}) - Q_{\text{ж}}] e^{Pe}; \quad (11)$$

$$\theta = Pe^{-1} e^{Pe} [A (1 - Pe^{-1}) - Q_{\text{ж}}] (1 - e^{-PeX}) - 0,5 A X^2 + A X Pe^{-1}. \quad (12)$$

Это уравнение позволяет определить распределение температуры в ДЗ при заданных числах подобия и граничных условиях.

Уравнение для ширины ДЗ в зависимости от условий её формирования получаем из условия  $\theta|_{X=1} = 1$ :

$$1 = Pe^{-1} e^{Pe} [A (1 - Pe^{-1}) - Q_{\text{ж}}] (1 - e^{-Pe}) - 0,5 A + A Pe^{-1}. \quad (13)$$

С учётом того, что  $A = N^{-1} (1 - \chi) n = 2 N^{-1} (1 - \chi)$ ,  $Q_{\text{ж}} = \frac{q_{\text{ж}} X_o}{\lambda (t_{\text{л}} - t_{\text{с}})} = \frac{q_{\text{ж}} \nu X_o}{c \rho \nu (t_{\text{л}} - t_{\text{с}}) a} = Nu^* Pe$ ,

где  $Nu^* = \frac{q_{\text{ж}}}{c \rho \nu (t_{\text{л}} - t_{\text{с}})}$  – аналог критерия Нуссельта, получаем

$$\left[ A(1 - \text{Pe}^{-1}) - \text{Nu}^* \text{Pe} \right] (1 - e^{-\text{Pe}}) + A = (1 + 0,5A) \text{Pe}. \quad (14)$$

Далее производим ряд преобразований и получаем окончательно

$$\text{Nu}^* = \frac{A \text{Pe}^{-1} (1 - \text{Pe}^{-1}) e^{-\text{Pe}} + 1 + 0,5A - A \text{Pe}^{-2}}{e^{-\text{Pe}} - 1}. \quad (15)$$

В квазистационарном приближении можно считать, что  $\text{Pe} = (X / X_0) \text{Fo}^{-1}$ , а при  $X = X_0$ ,  $\text{Pe} = \text{Fo}^{-1}$ . Ширина двухфазной зоны  $X_0$  входит в  $\text{Pe}$ ,  $A$  и находится из решения уравнения (15) при заданных условий теплообмена.

При тепловом экранировании определялись изменения условий теплообмена в системе слиток – изложница – окружающая среда [5]; при ЭГИО и вращении расплава учитывалось изменение характера и интенсивности потоков расплава [2-3].

Коэффициенты теплоотдачи от потока расплава определяются режимом движения и скоростью потока. При турбулентном режиме ( $\text{Re} > 10^4$ ) коэффициент теплоотдачи находится из критериального уравнения [2]:

$$\text{Nu} = 2,5 + 0,36 \text{Pe}^{2/3}. \quad (16)$$

При ламинарном режиме ( $\text{Re} < 10^3$ ):

$$\text{Nu} = 0,75 \left[ (1 + \text{Pe})^{1/3} \text{Pe} \right]^{1/2}, \quad (17)$$

где  $\text{Nu} = \alpha_{\text{ж}} l / \lambda_{\text{ж}}$  – критерий Нуссельта для жидкой фазы;  $\text{Pe} = \omega l / a_{\text{ж}}$  – критерий Пекле;  $\text{Re} = \omega l / \nu_{\text{ж}}$  – критерий Рейнольдса;  $a_{\text{ж}}$  – коэффициент температуропроводности расплава;  $l$  – характерный размер;  $\nu_{\text{ж}}$  – коэффициент кинематической вязкости;  $\omega$  – скорость потока расплава.

Коэффициент теплоотдачи от потока расплава определяем соответственно:

- при турбулентном режиме  $\alpha_{\text{ж}} = \lambda_{\text{ж}} \left[ 2,5 + 3,6 (\omega l / a_{\text{ж}})^{2/3} \right] / l$ ; (18)

- при ламинарном режиме  $\alpha_{\text{ж}} = 0,75 \lambda_{\text{ж}} \left[ (1 + \omega l / a_{\text{ж}})^{1/3} \omega l / a_{\text{ж}} \right]^{1/2} / l$ . (19)

При расчетах использовались следующие исходные данные для жидкой стали:

$$\lambda_{\text{ж}} = 23,6 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}, c_{\text{ж}} = 0,83 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}, \rho_{\text{ж}} = 7200 \text{ кг/м}^3, \nu_{\text{ж}} = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с},$$

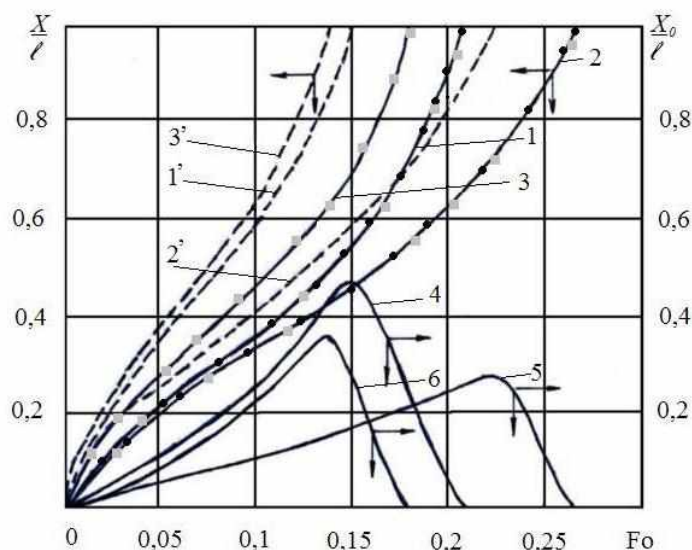
$$a_{\text{ж}} = \lambda_{\text{м}} / c_{\text{м}} \rho_{\text{м}} = 3,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

На рис. 1 приведены кривые, характеризующие развитие ДЗ в подприбыльном сечении кузнечных слитков массой 13т ( $l=0,6\text{м}$ , ст. 40) при ТЭ и ЭГИО. При ТЭ верхней части слитков термогравитационная конвекция выражена слабо, скорость конвективного движения расплава в 2 – 2,5 раза ниже, чем в контрольном слитке [1]. Это приводит, в соответствии с выражением (19), к понижению  $\alpha_{\text{ж}}$  в 1,5 – 1,8 раза при уменьшении  $\alpha_0$  в 30 раз после прогрева изложницы [3]. То есть в этом случае определяющим является уменьшение плотности теплового потока с наружной поверхности изложницы и от зеркала металла в окружающую среду. При этом время затвердевания увеличивается на 29% с 3,5 до 4,5 часа, а время снятия перегрева – на 50% с 2,0 до 3,0 часа. Ширина ДЗ к концу снятия перегрева уменьшается в 1,74 раза при более длительном нахождении стали в двухфазном состоянии. Максимум ширины ДЗ соответствует времени снятия перегрева, а дальнейшее её уменьшение связано только с продвижением изотермы солидуса. Таким образом, ТЭ характеризуется более длительным временем снятия перегрева, снижением протяжённости зоны двухфазного состояния и продолжительности пребывания в ней. Это способствует более полному протеканию процесса пропитки ДЗ и созданию благоприятных условий для всплывания неметаллических включений, что в конечном итоге приводит к снижению усадочных дефектов и повышению плотности металла [3].

При ЭГИО ударная волна приводит к созданию кавитационных явлений и образова-

нию локальных турбулентных полей вдоль фронта затвердевания. Это приводит к интенсификации теплоотдачи от жидкой фазы, а также к разрушению ДЗ и активизации в качестве зародышей кристаллизации примесных образований [1, 4]. Это повышает  $\alpha_{\text{ж}}$  в 2,5–3,0 раза при незначительном изменении  $\alpha_{\text{т}}$ . То есть в этом случае определяющей является теплоотдача от жидкой фазы. Применение ЭГИО с оптимальными параметрами использования этого метода [4] вызывает уменьшение времени затвердевания на 14,6% (с 3,5 до 3,0 часа) и времени снятия перегрева на 8,5% при уменьшении ширины ДЗ к этому моменту на 25%. Таким образом, импульсная обработка расплава приводит к снижению ширины ДЗ при незначительном снижении времени нахождения в двухфазном состоянии. При этом подавляется развитие ликвационных процессов и получается более однородный по химическому составу и структуре металл [2].

Учитывая положительные стороны ТЭ и ЭГИО наилучшие результаты можно получить при комплексном использовании этих двух методов внешних воздействий при формировании слитков. Причём повышение теплоотдачи от жидкой фазы является значительно более эффективным фактором уменьшения ДЗ, чем понижение теплоотдачи от твёрдой фазы из-за повышения термического сопротивления твёрдой корки в процессе затвердевания.



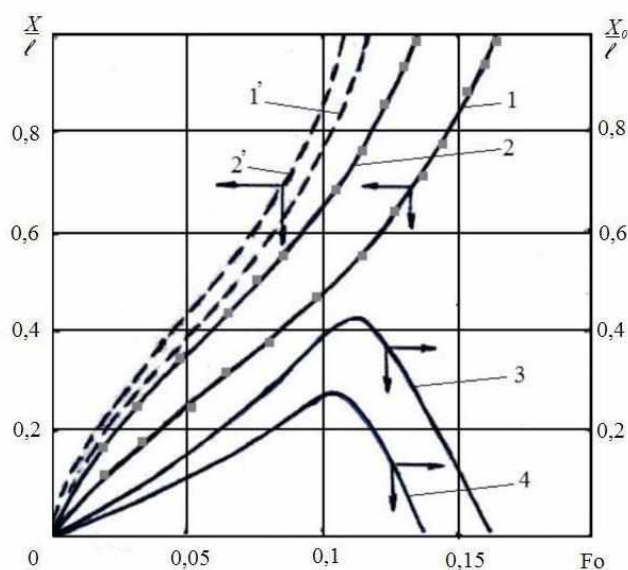
**Рис. 1. Кривые продвижения изотерм солидуса и ликвидуса (пунктирные кривые) и развития ДЗ в подприбыльном сечении кузнечного слитка массой 13 тонн:**

1, 1', 4 – контрольного слитка; 2, 2', 5 – при ТЭ; 3, 3', 6 – при ЭГИО;

● – экспериментальные данные (сталь 40); ■ – данные физического моделирования

На рис. 2 приведены результаты исследования по влиянию скорости вращения расплава в кристаллизаторах МНЛЗ на развитие ДЗ при использовании безнапорных разливочных стаканов со смещёнными выходными каналами [5]. Их применение позволяет создать горизонтальные составляющие потока расплава вдоль фронта затвердевания на уровне 0,08 – 0,18 м/с. При скоростях потока  $\omega > 0,3$  м/с ( $Re > 0,94 \cdot 10^4$ ) режим течения можно считать турбулентным и коэффициент теплоотдачи  $\alpha_{\text{ж}}$  увеличивается в этом случае в 3,0 – 3,5 раза по сравнению с использованием прямоточного стакана. При этом происходит уменьшение времени затвердевания на 16%, времени снятия перегрева на 10% при сокращении ширины ДЗ до 30%. Использование этого метода, так же, как и ЭГИО, позволяет интенсифицировать процесс затвердевания, переходя к повышенным скоростям разливки, и повышать качество литого металла [5].





**Рис. 2. Кривые продвижения изотерм солидуса и ликвидуса (пунктирные кривые) и развития ДЗ непрерывнолитого стального слитка сечением 330х360 при скорости вытягивания 0,5 м/мин:**

1, 1', 3 – контрольного слитка; 2, 2', 4 – при вращении расплава; ■ – данные физического моделирования

#### Библиографический список

1. **Гущин, В.Н.** Методы исследования и разработка градиентных промышленных технологий управления теплообменными процессами при разливке и формировании непрерывнолитых и стационарных заготовок / В.Н. Гущин, В.А. Ульянов; НГТУ. – Н. Новгород, 2006. – 141 с.
2. **Скворцов, А.А.** Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок / А.А. Скворцов, А.Д. Акименко, В.А. Ульянов. – М.: Металлургия, 1991. – 216 с.
3. **Китаев, Е.М.** Повышение качества 13-тонных кузнечных слитков путём увеличения направленности затвердевания / Е.М. Китаев, В.Н. Гущин, М.А. Ларин // Сталь. 1988. №4. С. 38–39.
4. **Ульянов, В.А.** Сравнительный анализ моделирования и промышленных исследований активных внешних воздействий на формирование слитков / В.А. Ульянов, В.Н. Гущин, Е.М. Китаев // Изв. вузов. ЧМ. 1998. №11. С. 15–19.
5. Управление потоками стали в кристаллизаторах МНЛЗ с помощью разливочных стаканов / В.И. Ильин [и др.] // Изв. вузов. ЧМ. 2002. №9. С. 19–22.
6. **Скворцов, А.А.** Теплопередача в системе слиток – изложница – окружающая среда / А.А.Скворцов, Е.М. Китаев, В.Н. Гущин // Изв. вузов. ЧМ. 1981. №1. С. 118–121.

Дата поступления

в редакцию 03.02.2014

**V.N. Gushchin, V. A. Ulyanov**

#### **STUDY OF THE INFLUENCE OF EXTERNAL INFLUENCES ON THE DEVELOPMENT ZONE TWO-PHASE STEEL BLANKS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Abstract:** the design procedure of the two-phase zone, taking into account external influences. This technique allows you to predict the impact of external influences on the dynamics of the formation of ingots and castings when the heat from the liquid phase. Product denali impact assessment of the two-phase zone of warm screening ingots, electron trogidroimpulsno melt processing and the creation of the angular momenta in the liquid phase using a non-pressure filling glasses with offset output channels.

**Key words:** two-phase zone, external influences, filling the glasses, continuous casting, steel billets.

УДК 621.74

Н. А. Кидалов, А. С. Князева

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОНИЗИТЕЛЯ ВЯЗКОСТИ – УГЛЕЩЕЛОЧНОГО РЕАГЕНТА НА БЕНТОНИТОВЫЕ ВОДНО-ГЛИНИСТЫЕ СУСПЕНЗИИ И СВОЙСТВА ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ НА ИХ ОСНОВЕ**

Волгоградский государственный технический университет

В работе проводились исследования по определению условной вязкости бентонитовых водно-глинистых суспензий при введении в их состав понизителя вязкости - углещелочного реагента (УЩР, ТУ У 26.8 – 32100092 – 001 – 2004). Полученные результаты показывают, что снижение условной вязкости составляет 30-50 %. Были сделаны микрофотографии, показывающие влияние УЩР на диспергирование и структуру суспензий.

Также в работе были определены технологические и физико-механические свойства формовочных смесей, в состав которых входят бентонитовые суспензии с добавлением УЩР. Полученные данные показывают, что УЩР способствует повышению свойств смеси, таких как предел прочности при сжатии во влажном состоянии, насыпная плотность и уплотняемость.

*Ключевые слова:* водно-глинистая суспензия, условная вязкость, понизитель вязкости, формовочная смесь, углещелочной реагент

Основным способом получения отливок в литейном производстве является литьё в песчано-глинистые формы. В качестве связующего компонента в формовочных смесях нередко применяются водно-глинистые суспензии, которые подаются к месту смесеприготовления по трубопроводу [1]. Высококонцентрированные суспензии, которые стремятся использовать в составах смесей из-за их высоких эксплуатационных характеристик по сравнению с низкоконцентрированными, обладают высокой вязкостью, что делает невозможным их течение по трубопроводу.

Для решения данной проблемы нашли применение вещества, обладающие поверхностно-активными свойствами и понижающие вязкость суспензий. Одним из наиболее доступных и дешевых понизителей вязкости водно-глинистых суспензий является углещелочной реагент (УЩР) [2].

В данной работе исследовалось влияние УЩР на условную вязкость суспензий и на технологические и физико-механические свойства формовочных смесей, в составе которых присутствовали суспензии с добавлением УЩР.

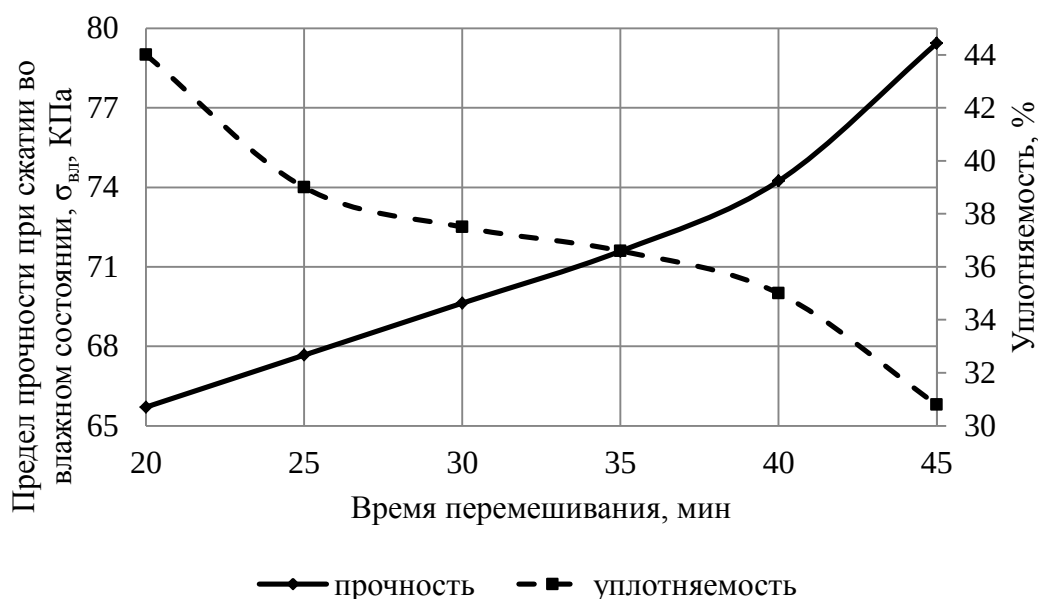
Объектами исследования являлась формовочная бентонитовая глина марки С1Т<sub>2</sub>, ГОСТ 28177-89 Латненского месторождения Воронежской области, а также приготовленные из этой глины водно-глинистые суспензии различной концентрации. Проводились исследования 7, 10, 12, 15 мас.% водно-глинистых суспензий без УЩР и суспензий, с добавлением УЩР, а также формовочных смесей, в состав которых входила отработанная смесь и в качестве освежения: песок и водно-глинистая суспензия.

Исследование глины на предел прочности во влажном состоянии, проводившееся по методике согласно ГОСТ, показало следующие результаты, представленные на рис. 1.

Среднее значение предела прочности при сжатии во влажном состоянии исследуемой бентонитовой глины равно 71,38 КПа; уплотняемости – 37,15 %.

По мере увеличения времени перемешивания в лабораторных бегунах смесь повышает предел прочности во влажном состоянии и в это же время уплотняемость падает. При продолжительном перемешивании достигается большая степень однородности смеси и, следовательно, более равномерное распределение глинистого материала по всему объему, более мелкие частицы смеси проникают в поры между более крупными. Кроме того по мере уве-

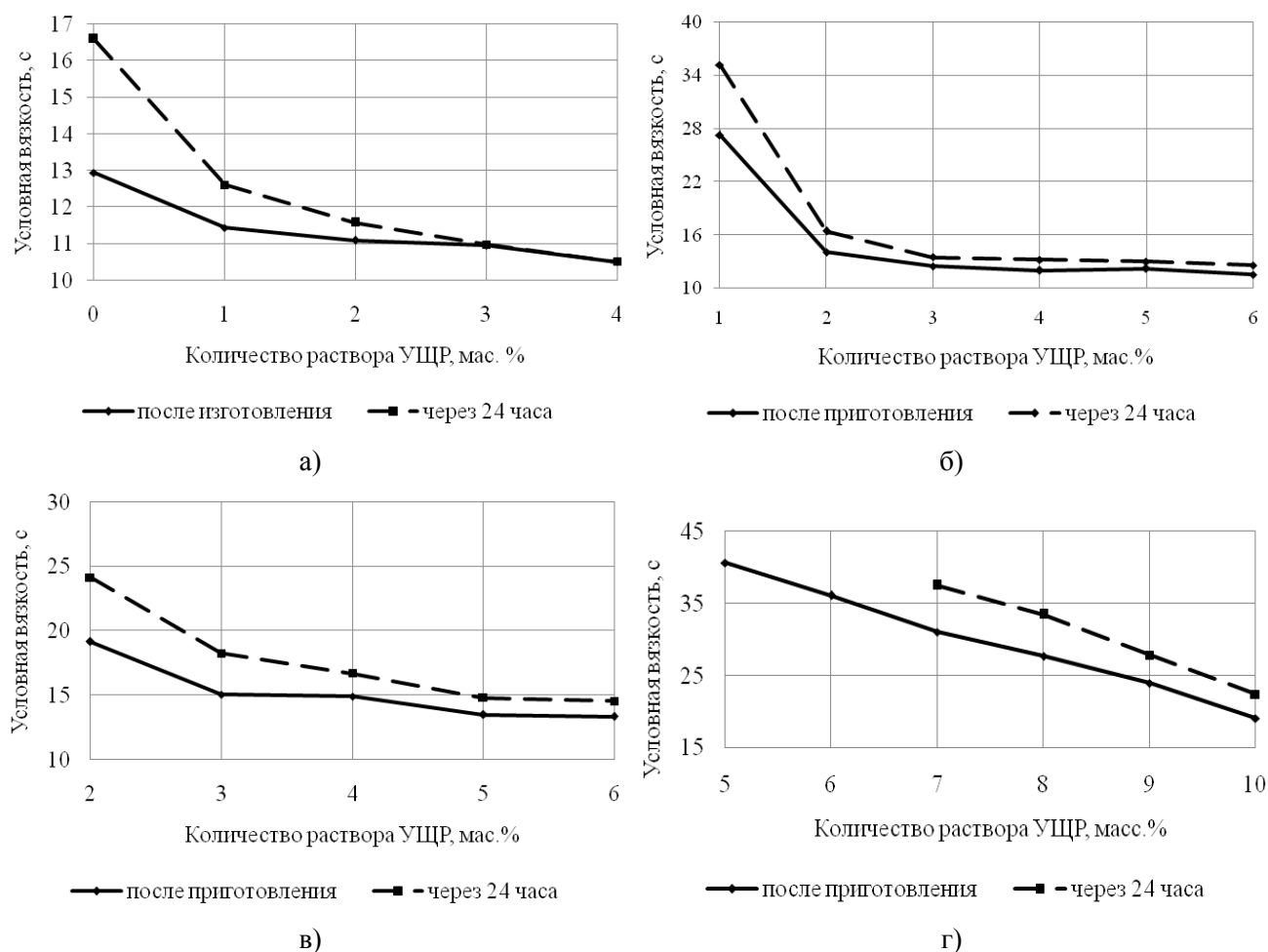
личения длительности перемешивания, бентонит подвергается механической активации, а молекулы воды проникают в его структуру, способствуя набуханию, что ведет к увеличению предела прочности. При измерении степени уплотнения образец подвергается механической деформации в ограниченном объеме без возможности бокового расширения – гильзе. Деформация сопровождается сдвигом частиц смеси друг относительно друга, увеличением количества контактов между ними и уменьшением коэффициента пористости смеси, что ведет к более плотной упаковке. По мере увеличения времени перемешивания смесь становится более однородной и плотной, так как объем пор в смеси уменьшается, и при дальнейшем измерении показателя уплотняемости возможность перераспределения частиц смеси в объеме гильзы ограничивается, и поэтому показатель уплотняемости снижается.



**Рис. 1. Влияние времени перемешивания формовочных смесей с бентонитовой глиной на предел прочности при сжатии во влажном состоянии и уплотняемость**

С помощью вискозиметра истечения ВЗ-4 определялась условная вязкость свежих водно-глинистых суспензий, а также суспензий после 24 часов выдержки. Определение условной вязкости для исходных суспензий 10 мас.%, 12 мас.% и 15 мас.% концентрация не велся ввиду высоких параметров вязкости. Также не удалось замерить условную вязкость 12 мас.% суспензии при добавлении 1 мас.% УЩР. Для 15 мас.% суспензии определение условной вязкости после приготовления стало возможным только после добавления раствора УЩР в количестве более 5 мас.%. Результаты измерения условной вязкости представлены на рис. 2.

Из графиков рис. 2 видно, что при увеличении содержания раствора УЩР в системе, происходит постепенное снижение условной вязкости суспензий. Например, условная вязкость свежей 7 мас.% суспензии при введении 1 мас.% УЩР снижается с 12,59 до 11,43 с, что составляет 11 %. Чем выше концентрация суспензии, тем при большем содержании УЩР достигается разжижение. Также снижается условная вязкость выдержанных в течение 24 часов суспензий: при введении 1 мас.% УЩР условная вязкость выдержанной в течение 24 часов 7 мас.% суспензии снижается на 22 % – с 16,59 до 12,87 с. Причем различие показаний условной вязкости между только что приготовленной суспензией и выдержанной уменьшаются на 10-30 % в зависимости от количества вводимого УЩР. Таким образом, это показывает, что УЩР способствует стабилизации параметров вязкости при суточной выдержке водно-глинистых суспензий [3].



**Рис. 2. Влияние количества УЦР на условную вязкость бентонитовых водно-глинистых суспензий**

*а* – условная вязкость 7 мас.% водно-глинистой суспензии; *б* – условная вязкость 10 мас.% водно-глинистой суспензии; *в* – условная вязкость 12 мас.% водно-глинистой суспензии; *г* – условная вязкость 15 мас.% водно-глинистой суспензии

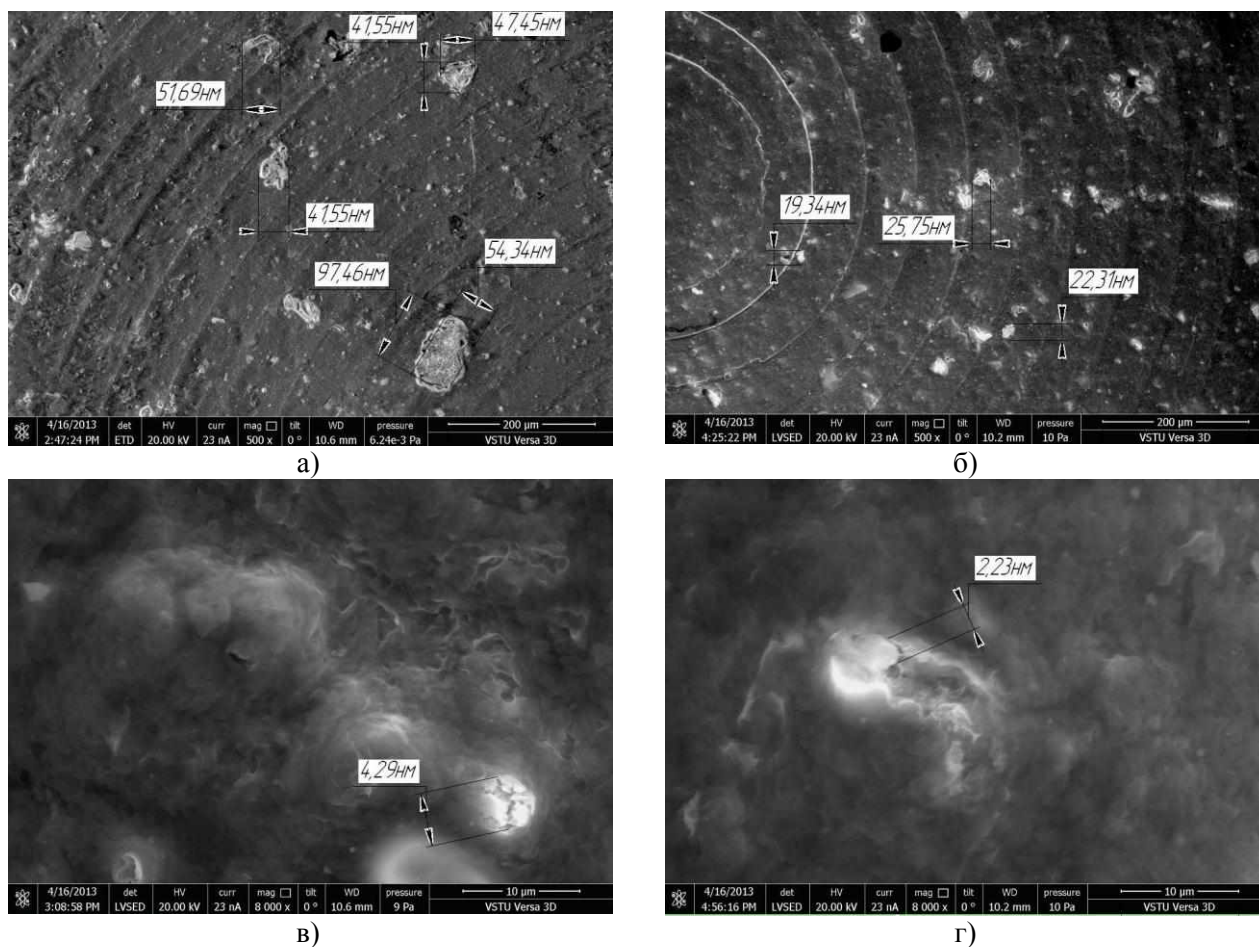
С помощью электронного растрового двухлучевого микроскопа FEI Versa 3D LoVac были получены микрофотографии, изображенные на рис. 3.

Сравнивая изображения суспензии на рис. 3, *а, б* видно, что на рис. 3, *а* присутствуют крупные глинистые частицы размером от 97,46 до 41,55 нм. При добавлении 1 мас.% УЦР к суспензии её рельеф становится более ровным вследствие того, что глинистые частицы не имеют острых граней и углов, размеры частиц сокращаются до 25,75-19,34 нм (рис. 3, *б*). Измельчение глинистой фазы говорит о том, что при обработке суспензии раствором УЦР происходит диспергирование глинистых частиц.

На рис. 3, *в, г* изображены глинистые частицы водно-глинистой суспензии. На рис. 3, *в* видно, что в структуре водно-глинистой суспензии без добавления УЦР образуются трещины размером до 4,29 нм, указывающие на присутствующие остаточные напряжения, которые могут привести к низким свойствам формовочной смеси, в частности – низкому пределу прочности. Размеры микротрещин в водно-глинистой суспензии, содержащей УЦР, сокращаются на 50 % и составляют 2,23 нм (рис. 3, *г*). Глинистая суспензия более пластична и в составе формовочной смеси будет равномерно обволакивать зерна песка, повышая технологические свойства смеси.

Таким образом, введение раствора УЦР в водно-глинистую суспензию способствует диспергации, то есть расщеплению глинистых частиц на более мелкие: уменьшение размеров

зерна происходит с 97,46 нм до 19,34 нм, что составляет 22 %. Также введение УЦР снижает напряжения, которые возникают в смеси, количество трещин сокращается, а их размер уменьшается на 50 %.



**Рис. 3. Микрофотографии 7 мас.% водно-глинистой суспензии без добавления УЦР (а, в), с добавлением 1 мас.% УЦР (б, г); а, б –  $\times 500$ ; в, г –  $\times 8000$**

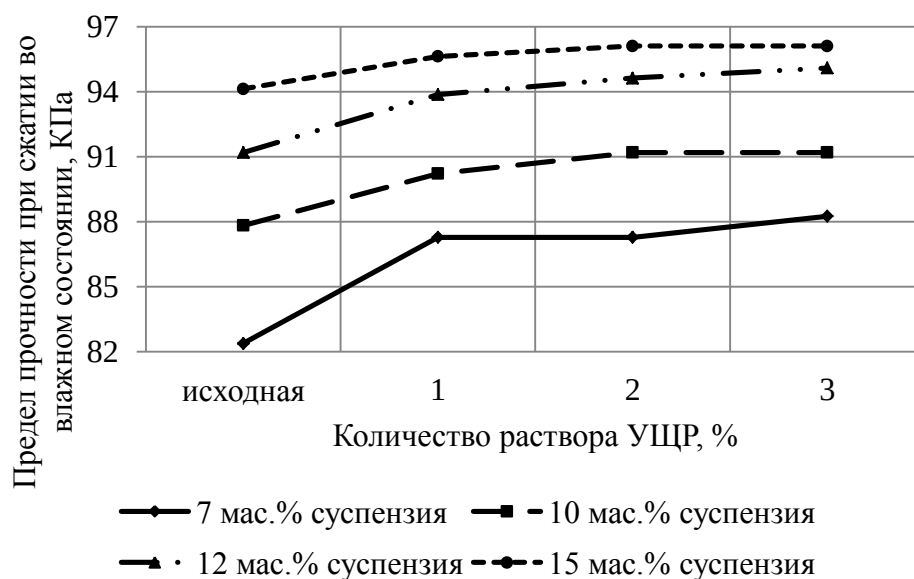
Из приготовленных водно-глинистых суспензий изготавливались формовочные смеси на основе отработанной смеси с добавлением песка в качестве освежения. Формовочные смеси исследовались на влажность, предел прочности при сжатии во влажном состоянии, уплотняемость, текучесть по пробе Орлова, газопроницаемость по стандартным методикам. Полученные результаты представлены на рис. 4 и рис. 5.

Влажность смесей на основе 7, 10, 12 мас.% суспензии в среднем равнялась 5 %. Влажность смесей с 15 мас.% суспензией колебалась в пределах 4 – 4,5 %.

На рис. 4 видно, что с увеличением количества раствора УЦР предел прочности повышается для всех смесей. Для смесей с водно-глинистыми суспензиями концентрации 7 и 12 мас.% предел прочности повышается в среднем на 5,9 %; для смесей с 10 и 15 мас.% суспензиями – на 1,25 %. При повышении концентрации используемых суспензий, увеличивается значение предела прочности смеси, так как возрастает количество глинистых частиц, участвующих во взаимодействии с зернами песка.

При введении УЦР значение предела прочности при сжатии во влажном состоянии возрастает. Например, при использовании в смеси 7 мас.% суспензии, предел прочности равняется 82,38 КПа. При добавлении к данной суспензии 1 мас.% раствора УЦР предел прочности смеси возрастает на 5,7 % и составляет 87,28 КПа. Рост предела прочности смесей при

введении УЩР объясняется следующим образом. Суспензия с добавлением раствора УЩР является активированной, так как глинистые частицы, являясь прореагировавшими с УЩР, обладают большей степенью диспергирования (рис. 3, б), следовательно, глинистая фаза, содержащаяся в суспензии, имеет большую удельную площадь поверхности, что обеспечивает увеличение числа взаимодействий между глиной и зернами песка и ведет к возрастанию предела прочности при сжатии формовочной смеси. Дальнейшее увеличение содержания УЩР в 7 мас.% суспензиях не оказывает заметного влияния на предел прочности смеси, так как глинистые частицы уже являются прореагировавшими и их дальнейшее взаимодействие с УЩР происходит не существенно.

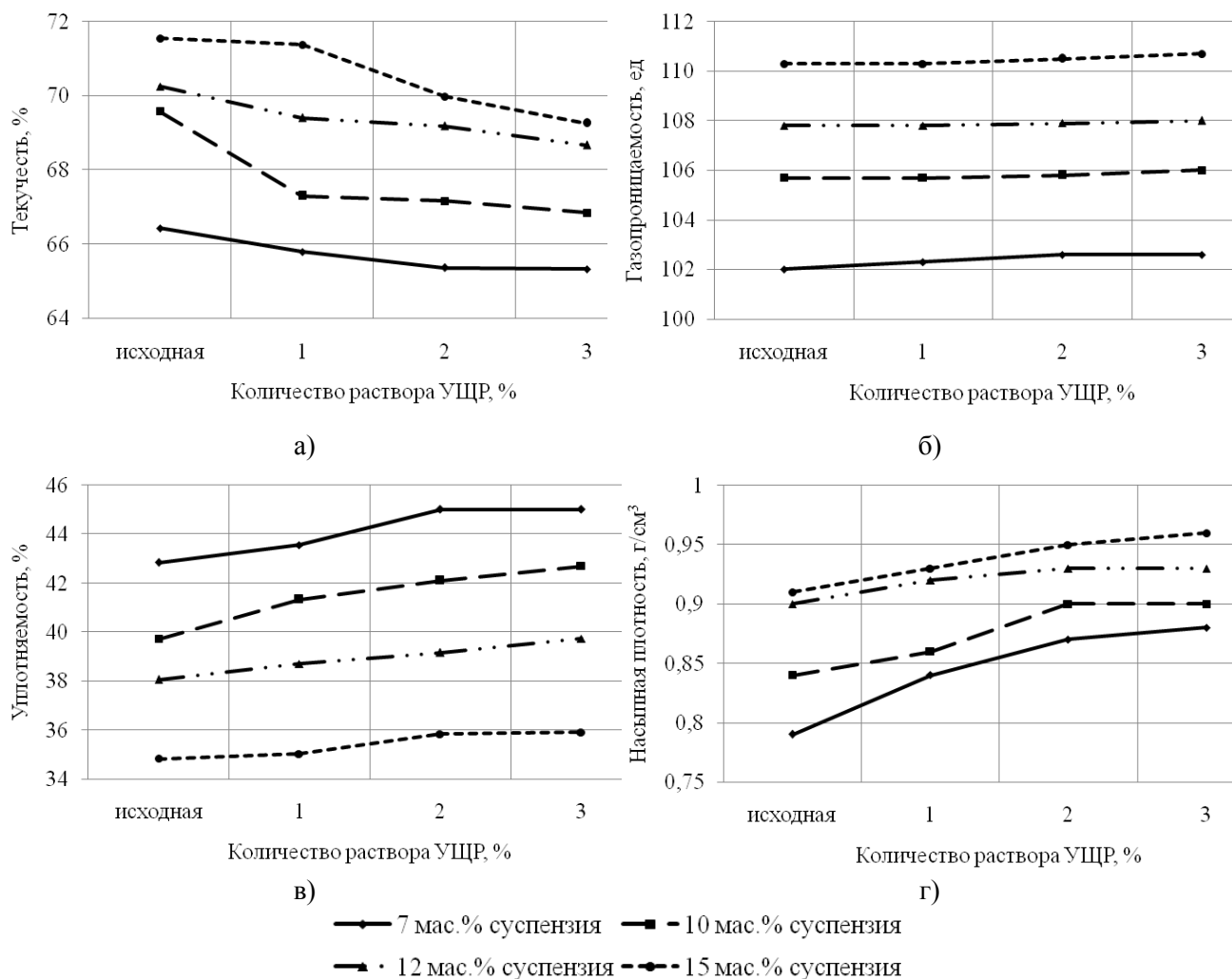


**Рис. 4. Влияние УЩР на предел прочности при сжатии во влажном состоянии формовочных смесей с добавлением водно-глинистых суспензий различной концентрации**

Снижение текучести формовочных смесей составляет в среднем 2,8 % (рис. 5, а). Значение текучести тесно связано с величиной предела прочности смеси во влажном состоянии — чем выше предел прочности, тем ниже текучесть [4].

Газопроницаемость всех исследуемых смесей колеблется в пределах 102–111 ед. Максимальный разброс значений не превышает 0,6 %. Это свидетельствует о том, что введение УЩР не закупоривает поры формовочной смеси и тем самым не влияет на ее пропускную способность. Таким образом, во время использования смеси не будут создаваться препятствия для удаления газообразных продуктов из полости формы в процессе заливки ее жидким металлом, и, следовательно, исключаются газовые дефекты получаемых отливок.

Из графика (рис. 5, б) видно, что смесь, содержащая 15 мас.% водно-глинистую суспензию, обладает большей газопроницаемостью по сравнению со смесями, где содержание глинистых составляющих ниже, т.е. теми, где используется 7, 10 и 12 мас.% суспензии. Согласно [5, 6] на газопроницаемость влияет не только количество глинистых составляющих, но и их распределение по поверхности зерен. В том случае, если глинистые частицы распределяются равномерно тонким слоем по поверхности зерна, происходит увеличение его условного диаметра, что ведет к повышению газопроницаемости. В противном случае — часть глинистого материала располагается между зернами песка и забивает поры, тем самым снижая газопроницаемость [5]. Анализируя график, представленный на рис. 5, б, можно отметить, что увеличение газопроницаемости формовочных смесей при увеличении концентрации используемых суспензий вызвано равномерным распределением глинистых частичек по поверхности зерен смеси.



**Рис. 5. Влияние УЦР на свойства формовочных смесей с добавлением водно-глинистых суспензий различной концентрации**  
 а – текущность (по Орлову Г.М.); б – газопроницаемость;  
 в – уплотняемость; г – насыпная плотность

Также рост газопроницаемости при увеличении количества вводимого УЦР вызван повышением степени дисперсности суспензий при обработке УЦР, так как мелкодисперсные составляющие более равномерно распределяются по поверхности зерен [6].

С увеличением концентрации суспензии уплотняемость формовочных смесей снижается (рис. 5, в), в то время как насыпная плотность растет (рис. 5, г).

По мере возрастания концентрации водно-глинистых суспензий количество глины по массе, которая содержится в их составе, увеличивается. Следовательно, формовочные смеси, содержащие суспензии различной концентрации, имеют различную массу в одном и том же объеме смеси, и эта масса тем больше, чем больше концентрация добавляемых суспензий. В свою очередь это ведет к увеличению насыпной плотности.

Таким образом, смеси с 15 мас.% суспензией имеют наибольшее значение насыпной плотности –  $0,92 \text{ г/см}^3$  и наименьшую степень уплотняемости – 35 %; смеси с 7 мас.% суспензией обладают наименьшей насыпной плотностью –  $0,79 \text{ г/см}^3$  и наибольшей уплотняемостью – 43 %. Однако показатели уплотняемости и насыпной плотности увеличиваются по мере увеличения количества УЦР в составе формовочных смесей. Их рост при использовании водно-глинистых суспензий, обработанных УЦР, объясняется тем, что данные суспензии полнее взаимодействуют с элементами смеси по сравнению с «чистыми» суспензиями,

ввиду их бóльшей степени диспергирования, отчего мелкие частицы занимают свободные места между более крупными, что увеличивает массу смеси в занимаемом объеме. Уплотняемость формовочных смесей при добавлении УЩР растет в среднем на 4,75 %, при этом повышается равномерность уплотнения формы. Среднее значение увеличения насыпной плотности составляет 6,8 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что обработка водно-глинистых суспензий, используемых в качестве связующего для формовочных смесей, раствором УЩР снижает условную вязкость суспензий, количество и размеры дефектов структуры пленок, а также способствует расщеплению глинистых частиц на более мелкие, увеличивая тем самым степень диспергации глинистой фазы, вследствие чего глинистые частицы имеют бóльшую удельную площадь поверхности, что обеспечивает увеличение числа взаимодействий между глиной и зёрнами песка и ведет к возрастанию технологических свойств формовочной смеси: повышению предела прочности, насыпной плотности и уплотняемости. Использование понизителя вязкости – УЩР при изготовлении песчано-глинистых форм позволяет повысить качество отливок.

#### Библиографический список

1. Высококонцентрированные водно-глинистые суспензии / В. П. Бычков [и др.] // Литейное производство. 2000. №4. С. 20–21.
2. Пат. 486846 СССР Смесь для изготовления литейных форм / А. А. Волкомич, А. К. Кисляков, Ю. И. Крупчик, И. Б. Лурье, Т. М. Чапчикова, В. А. Родионов, В. А. Василенко; заявитель: НИИ технологии автомобильной промышленности. заявл. 07.05.74; опубл. 05.10.75, Бюл №37.
3. Влияние углещелочного реагента на вязкость водно-глинистых суспензий для песчано-глинистых смесей / Н. А. Кидалов [и др.] // Литейное производство, 2013. №9. С. 27–29.
4. **Гиршович, Н. Г.** Справочник по чугуному литью / Н. Г. Гиршович. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1978. – 758 с.
5. **Берг, П. П.** Качество литейной формы / П. П. Берг. – М.: Машиностроение, 1970. – 286 с.
6. **Берг, П. П.** Формовочные материалы / П. П. Берг. – М.: Машгиз, 1963. – 408 с.

*Дата поступления  
в редакцию 03.02.2014*

**N. A. Kidalov, A. S. Knyazeva**

#### THE STUDY OF INFLUENCE VISCOSITY REDUCERS - LIGNIN-ALKALINE REAGENT ON BENTONITE WATER-CLAY SUSPENSIONS AND PROPERTIES MOULDING MIXTURE BASED ON SUSPENSION

Volgograd state technical university

**Purpose:** The reduction of viscosity of water-clay suspensions for the possibility to produce quality molds.

**Design/methodology/approach:** The experimental data were obtained with the performance of standard techniques to determine the technological properties of the objects of study.

**Findings:** The application of lignin-alkaline reagent in the composition of water-clay suspensions reduces their viscosity, promotes dispersion of clay particles, which leads to an increase in technological properties of the moulding mixture.

**Research limitations/implications:** The results of this study can be used in foundry, as well as in solving the hydrodynamic problems associated with transportation of highly-viscous non-Newtonian liquids.

**Key words:** water-clay suspensions, funnel viscosity, viscosity reducer, moulding mixture, lignin-alkaline reagent.



УДК 621.746.019

И.О. Леушин<sup>1</sup>, Д.Г. Чистяков<sup>1</sup>, С.Н. Марфенин<sup>2</sup>**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ  
ЧУГУННЫХ СТЕКЛОФОРМ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
ОАО «Нижегородский НИИ машиностроительных материалов "Прометей"»<sup>2</sup>

Рассматривается процесс изготовления деталей стеклоформ, применяемых для массового выпуска стеклянных изделия. Предлагается применять способ получения литых заготовок с градиентным расположением структурных составляющих чугуна. Склонность материала детали к изменению своей структуры в процессе эксплуатации предлагается определять методом измерения электрического сопротивления.

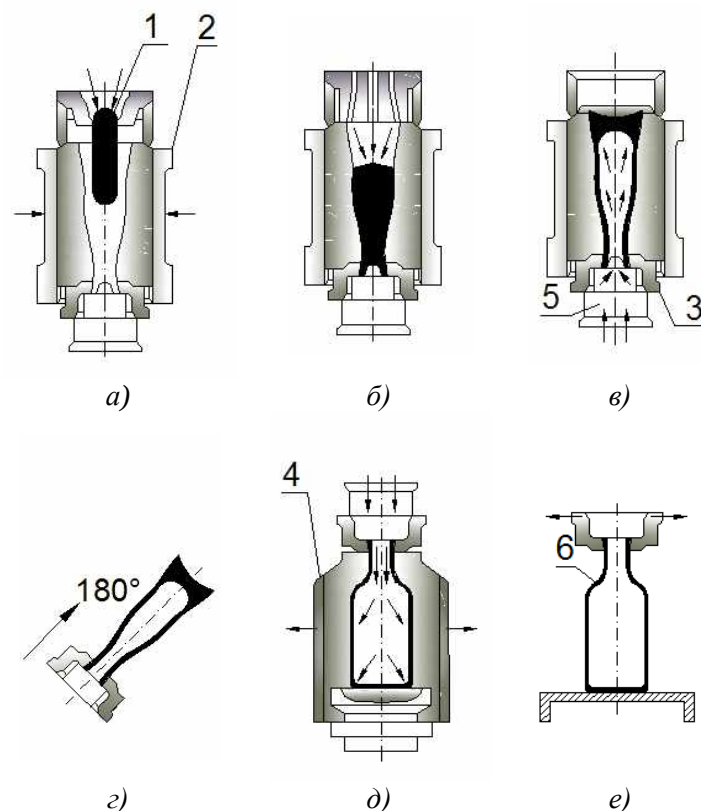
*Ключевые слова:* чугун, стеклоформа, отливка, термостойкость, электросопротивление.

**Введение**

С повышением скоростных режимов рабочих процессов стекловыдувных автоматов при производства в массовом порядке полой стеклянной тары (бутылки, флаконы и пр.) интенсифицируется процесс теплопередачи энергии через детали формовых комплектов, что создает повышенную теплонапряженность в материале формблока. Этому способствует комплексное воздействие мощного теплового потока и механических нагрузок на рабочие<sup>1</sup> стенки деталей, что формирует ключевые свойства, которыми должны обладать детали такого типа, – высокие термо- и жаростойкость материала при достаточной прочности конструкции и механических показателей ее изготовления.

Общеизвестно, что разрушению от знакопеременных термоциклических нагрузок (термической усталости) подвергаются лишь те детали, что подвержены незначительной дополнительной механической нагрузке. Однако процесс изготовления стеклянной тары имеет присущие ему особенности, значительно отличающие его от общеизвестных механизмов термоциклирования деталей, которые изучены в большей степени (кокиля, изложницы, детали газотурбинных установок и пр.). Главным отличием эксплуатации деталей стеклоформ является большая цикличность процесса во времени с использованием принципа двойного выдувания стеклоизделия (рис.1) и, соответственно, применением двух стеклоформирующих комплектов различной конфигурации (черновой и чистовой металлических форм).

Периодичность подачи капли расплавленной стекломассы (как правило, заостренной у кромки) в стеклоформирующую машину (в черновую форму, охлаждаемую воздухом) составляет 30-150 шт/мин в зависимости от ее производительности. Температура расплавленного стекла в момент попадания в стеклоавтомат достигает 1100-1250°C. Время выдувания стекломассы в черновой форме (рис. 2, а) составляет 1.2-3 с, подача сжатого воздуха для прессования горловой части стеклоизделия осуществляется, как правило, через 0.3-0.7 с, а выдувание пульки (стеклоизделия предварительной конфигурации) – через 1.0-1.5 с после попадания стекломассы в черновую форму. При этом время выдувания обычно не превышает 3 с, а время нахождения пульки на межоперационном этапе "черновая→чистовая формы" – 1 с. Выдержка стеклоизделия на так называемом, "поддоне охлаждения" составляет 1.8-4.0 с. Таким образом, общая продолжительность процесса "стекломасса→готовое стеклоизделие" не превышает 8-15 с, при прогреве рабочих поверхностей деталей черновых стеклоформ до температур 750-850°C. Такой термоциклический режим эксплуатации приводит к высокой термической усталости материала форм, под действием которой происходит повреждение внутренних поверхностей и деталь выводится из цикла.



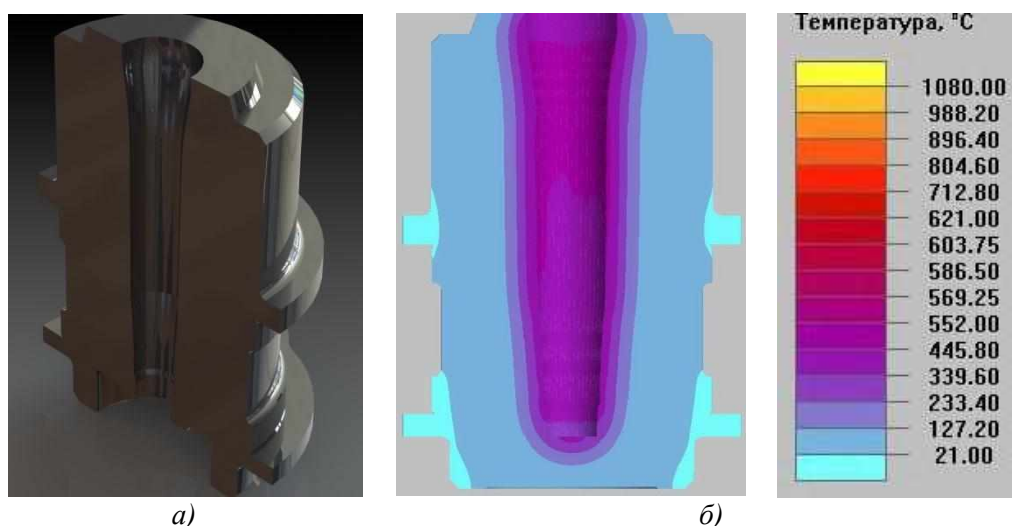
**Рис. 1. Процесс изготовления стеклоизделия:**

*а* – попадание капли в черновую форму; *б* – формирование горловой части стеклоизделия; *в* – выдувание предварительного стеклоизделия (пульки) в черновой форме; *г* – кантование пульки в чистовую форму; *д* – выдувание готового стеклоизделия в чистовой форме; *е* – выдача готового изделия на конвейер; 1 – расплавленное стекло; 2 – черновая форма; 3 – горловая форма; 4 – чистовая форма; 5 – дутьевая головка; 6 – готовое стеклоизделие

Помимо характерных тепловых потоков большой мощности через конструкции стеклоформирующих элементов детали испытывают воздействие механических нагрузок со стороны расплавленного стекла (для черновой формы) или пульки (для чистовой формы) – компрессионное давление в процессе выдувания пульки стеклоизделия может достигать 2.5-3 атм. [1].

Общая тенденция производителей стеклоизделий в снижении металлоемкости деталей стеклоформ при увеличении производительности работы оборудования способствует повышению как местной напряженности в ее отдельных узлах, так и общей напряженности стеклоформирующей конструкции в целом. Особенно это проявляется в нестационарности температурного и силового нагружений, определяющих циклический режим упругопластического деформирования материала и, как следствие, неизотермические условия эксплуатации.

Анализ термонапряженного состояния деталей стеклоформ в процессе их работы показал, что наиболее нагруженным, как с точки зрения термического, так и с точки зрения силового воздействия, является горловая часть черновой формы (рис. 2, *б*), что проявляется, в первую очередь, в повреждении ее поверхностных слоев. Высокое термомеханическое воздействие на горловую часть объясняется значительной скоростью попадания капли стекла в форму (под действием сил гравитации), ударом стекломассы о поверхность и наибольшим компрессионным давлением в момент выдувания пульки в черновой форме при тепловом ударе, достигающем  $250^{\circ}\text{C}/\text{с}\times\text{мм}$ . Градиент температур по сечению детали при этом составляет  $450\text{--}620^{\circ}\text{C}$ : внутренняя поверхность нагревается до  $750\text{--}850^{\circ}\text{C}$ , наружная  $230\text{--}300^{\circ}\text{C}$ .



**Рис.2. Стеклоформирующая оснастка:**

*а* – деталь черновой формы; *б* – градиент разогрева черновой формы при эксплуатации

Таким образом, основными факторами, формирующими повреждения в рабочих поверхностях деталей стеклоформ, являются: механическая и тепловая усталость материала изделия в нестационарном температурном поле, циклический характер воздействия, высокая температура, высокий градиент температур, относительно высокая частота нагружения.

### Постановка задачи

Для оценки, расчета и прогнозирования термоусталостного состояния деталей стеклоформ необходимо иметь данные о тепловом нагружении. Важной с этой точки зрения является кинетика термомеханических нагружений, которая показала, что, во-первых, нагрузка на отдельные ответственные узлы детали в течение ее эксплуатации происходит равномерно и в циклическом режиме и, во-вторых, по объему стеклоформы создаются зоны с разными знаками напряжений при устоявшейся высокой температуре ее рабочей поверхности.

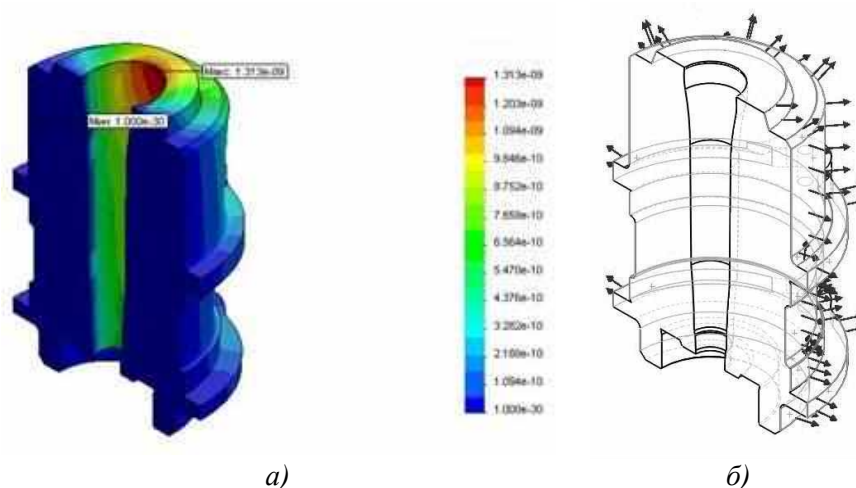
Анализ расчетных данных моделирования эксплуатации стеклоформирующего комплекта проведенный в программных комплексах ANSYS и Solidworks Premium, представлен на рис. 3.

Ключевым свойством, определяющим стабильность работы деталей стеклоформ, является их термостойкость. По мнению авторов, термостойкость деталей стеклоформ – это способность деталей (в особенности ее рабочих поверхностей) противостоять совместному воздействию абразивного и термоциклического износов без нарушения сплошности ее контактных поверхностей. Таким образом, термостойкость деталей стеклоформ будет определяться, во-первых, склонностью структуры детали к формированию трещин разгара (наличием большого числа концентраторов напряжений и/или невысокой степенью сопротивляемости самой структуры к возникновению пластических деформаций), во-вторых, способностью быстрого отвода излишек тепловой энергии с рабочих поверхностей во избежание формирования высоких энергий диссипации, способных нарушить установленное структурное соответствие в полученной детали.

Все перечисленное позволяет заключить, что рабочий слой изделия должен иметь высокий запас вязкости разрушения (коэффициент трещиностойкости), а основная масса детали – обладать повышенной теплопроводностью.

В большинстве исследовательских работ и имеющихся на данный момент технологий изготовления деталей стеклоформ на предприятиях учитывается один из приведенных принципов и, как правило, не берется во внимание другой. Именно поэтому в настоящее время наибольшую популярность в качестве материала для черновых (а в 50% случаев и для чистовых) формовых комплектов применяется низко-, средне-, реже высоколегированный серый

чугун. Главными критериями выбора производителями этого материала являются: относительно невысокая стоимость его изготовления (хотя выгодность его получения относительно экономнолегированного высокопрочного чугуна с точки зрения экономической эффективности для конкретных производителей остается под большим вопросом) и высокая теплопроводность материала детали.



**Рис. 3. Схема напряженного состояния детали стеклоформы:**

*а* – рост пластической деформации относительно зон крепления;

*б* – направления роста детали под действием высоких температур

Часть заводов-изготовителей деталей стеклоформ применяют чугун с вермикулярной формой графита, с целью найти компромисс в решении проблемы повышения стойкости стеклоформ на производственной линии – термостойкость увеличивается, а теплопроводность падает (но до допустимой величины, позволяющей быстро отвести избытки энергии с рабочих поверхностей; как только эта величина становится ниже пороговой, стойкость стеклоформ резко падает).

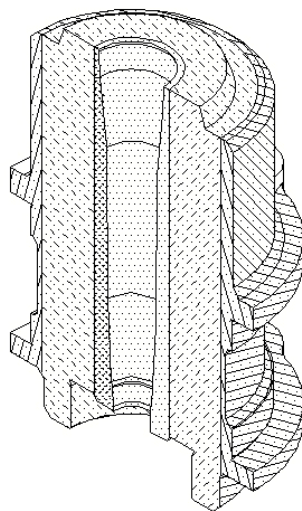
Большинство деталей стеклоформ западных производителей ("Nuove Officine Valtaro", Италия; "ZITZMANN", Германия; "Инхом-98", Болгария [2]) имеют структуру либо серого чугуна (как правило, для черновых формокомплектов), либо чугуна с вермикулярным графитом (как правило, для чистовых формокомплектов). При этом за счет использования сложнокомпонентных лигатур и модификаторов, уникальных технологии заливки расплава и кристаллизации отливок западные образцы стеклоформ значительно превосходят отечественные (нередко в 2-4 раза) по количеству выдерживаемых температурных смен.

Авторами установлено, что на данный момент не существует какой-либо универсальной технологии изготовления деталей стеклоформ. При этом наиболее современные способы повышения прочности и надежности конструкции стеклоформирующих комплектов (точечная закалка, лазерное упрочнение и т.п.) не обеспечивают низкий уровень трансформации структурных компонентов чугуна под действием высоких температур, поэтому, по мнению авторов, особого внимания заслуживает процесс формирования структур, способных противостоять описанным механизмам повреждений деталей.

### **Термонапряженное состояние деталей стеклоформ при их эксплуатации**

Согласно данным [3] увеличение содержания кремния в высокопрочных чугунах с шаровидным графитом способствует повышению устойчивости их структуры действиям циклического нагрева до температуры  $900^{\circ}\text{C}$ . Благоприятным действием такого легирования является получение стабильной структуры графит+кремнеферрит. Благодаря этому при дальнейшем термоциклировании исключаются процессы графитизации и связанные с ними

рост и окисление. В качестве конструкционного и функционального материала для деталей такого типа авторы предлагают использовать легированный кремнием до 4.5-5% чугун с градиентным расположением структурных составляющих (рис.4). Главным преимуществом использования такого чугуна является высокая прочность рабочих поверхностей при повышенной теплопроводности изделия (по сравнению с известными чугунами с шаровидным графитом). Особенности изготовления деталей данного типа подробно освещены авторами в работе [4].



**Рис. 4. Стеклоформа: схема расположения структурных составляющих:**

-  – слой с шаровидной формой графита размером 10-20 мкм;
-  – слой с вермикулярной формой графита;
-  – слой с пластинчатой формой графита

Однако процесс теплопередачи излишек тепловой энергии через материал детали стеклоформы с градиентным расположением структурных составляющих в процессе ее эксплуатации несколько отличен от теплопередачи через материал с однородной структурой (рис. 5, а). Для оценки эффективности теплопередачи через деталь стеклоформы с градиентной структурой можно представить зону теплоотвода как многослойную стенку с нулевым зазором, состоящую из материалов с различными теплофизическими характеристиками. Поэтому теплопередачу через деталь с градиентным расположением структурных составляющих можно представить как:

$$\lambda_{\text{экв}} = \frac{\Delta}{\frac{\delta_{\text{ВЧ}}}{\lambda_{\text{ВЧ}}} + \frac{\delta_{\text{ЧВГ}}}{\lambda_{\text{ЧВГ}}} + \frac{\delta_{\text{СЧ}}}{\lambda_{\text{СЧ}}}} = \frac{\delta_{\text{ВЧ}} + \delta_{\text{ЧВГ}} + \delta_{\text{СЧ}}}{\frac{\delta_{\text{ВЧ}}}{\lambda_{\text{ВЧ}}} + \frac{\delta_{\text{ЧВГ}}}{\lambda_{\text{ЧВГ}}} + \frac{\delta_{\text{СЧ}}}{\lambda_{\text{СЧ}}}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{\text{экв}}$  - эквивалентный коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К);  $\Delta$  - толщина стенки детали стеклоформы, м;  $\delta_{\text{ВЧ}}$ ,  $\delta_{\text{ЧВГ}}$ ,  $\delta_{\text{СЧ}}$  - толщины слоев, образованных чугунами с шаровидной, вермикулярной и пластинчатой формами графита, м;  $\lambda_{\text{ВЧ}}$ ,  $\lambda_{\text{ЧВГ}}$ ,  $\lambda_{\text{СЧ}}$  - коэффициенты теплопроводностей чугунов с шаровидной, вермикулярной и пластинчатой формами графита, Вт/(м×К).

За один съем стеклянного изделия через все слои стеклоформы проходит одинаковое количество теплоты ( $q_x$ ), поэтому  $q_x$  в отдельных слоях будет определяться как:

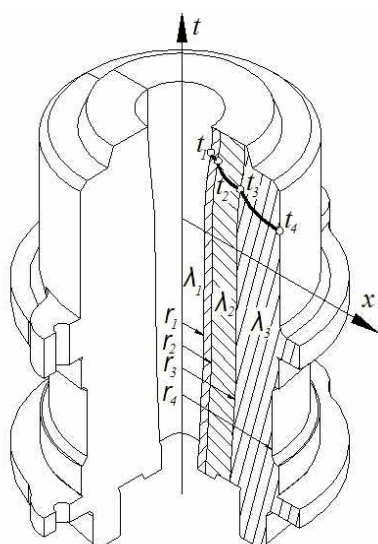
$$q_x = \frac{2\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}}, \text{ для чугуна с шаровидным графитом}, \quad (2)$$

$$q_x = \frac{2\pi(t_2 - t_3)}{\frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}}, \text{ для чугуна с вермикулярным графитом,} \quad (3)$$

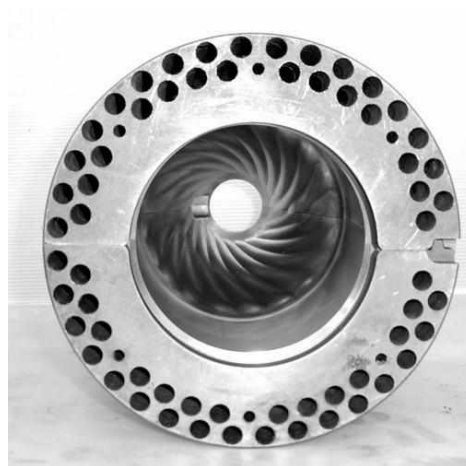
$$q_x = \frac{2\pi(t_3 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}}, \text{ для чугуна с пластинчатым графитом.} \quad (4)$$

Температурный (системный) напор в каждом слое будет выглядеть как:

$$\begin{cases} t_1 - t_2 = \frac{q_x}{2\pi} \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}, \\ t_2 - t_3 = \frac{q_x}{2\pi} \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2}, \\ t_3 - t_4 = \frac{q_x}{2\pi} \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}. \end{cases} \quad (5)$$



а)



б)

**Рис. 5. Теплопередача через деталь стеклоформы с градиентной структурой:**

а – схема тепловода; б – каналы воздушного охлаждения

Сумма температурных напоров в слоях с шаровидным, вермикулярным и пластинчатым графитом будет составлять полный температурный напор. Складывая отдельно левые и правые части системы уравнений имеем

$$t_1 - t_4 = \frac{q_x}{2\pi} \left( \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3} \right). \quad (6)$$

Значение линейной плотности теплового потока  $q_x$  через деталь стеклоформы будет определяться из формулы (7), а значение температур в переходных областях "шаровидный-вермикулярный" ( $t_2$ ) графит и "вермикулярный-пластинчатый" ( $t_3$ ) будет определяться из системы уравнений (8).

$$q_x = \frac{2\pi(t_1 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}}. \quad (7)$$



$$\begin{cases} t_2 = t_1 - \frac{q_x}{2\pi \lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}, \\ t_3 = t_1 - \frac{q_x}{2\pi \lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} = t_4 + \frac{q_x}{2\pi \lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}. \end{cases} \quad (8)$$

Необходимая эквивалентная теплопроводность для деталей стеклоформ составляет не менее 40 Вт/(м×К) [7]. Суммарная теплопроводность детали стеклоформы с градиентным расположением графитовых включений меньше теплопроводности серого чугуна с пластинчатым графитом. Это объясняется большей разобщенностью включений шаровидного графита в рабочем слое и ростом размеров графитовых включений от внутреннего слоя к наружному. Согласно [5, 6] теплопроводность чугунов с различной формой графита значительно разнится (табл. 1).

**Таблица 1**  
**Теплопроводность чугунов при температуре 20°C**

| Теплопроводность, Вт/м×°C |       |       |       |
|---------------------------|-------|-------|-------|
| СЧ10                      | СЧ15  | СЧ25  | СЧ35  |
| 60                        | 59    | 50    | 42    |
| ЧВГ30                     | ЧВГ35 | ЧВГ40 | ЧВГ45 |
| 50                        | 48    | 39    | 39    |
| ВЧ40                      | ВЧ45  | ВЧ50  | ВЧ60  |
| 40                        | 34    | 30    | 29    |

Ввиду того, что для различных масс заготовок стеклоформ (изменение номенклатуры выпускаемых стеклоизделий) структурный градиент будет иметь различную форму как шаровидного, так и пластинчатого графита, то авторы в качестве выбора коэффициентов теплопроводности материала ограничились средним значением по каждой форме графита.

После разогрева формового комплекта максимальный и минимальный температурные пики на внутренних кромках детали будут периодически повторяться (соблюдаться принцип изотермического циклирования). Соответственно, приняв максимальную температуру на внутренней поверхности равной 850°C, а минимальную на внешней – 250°C [7], имеем решение описанных уравнений:

$$q_x = \frac{2\pi(t_1 - t_4)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}} = \frac{2 \times 3.14 \times (850 - 250)}{\frac{1}{33.25} \ln \frac{0.07}{0.04} + \frac{1}{44} \ln \frac{0.12}{0.07} + \frac{1}{52.75} \ln \frac{0.15}{0.12}} = 113116.9 \text{ Вт/м},$$

$$t_2 = 850 - \frac{113116.9}{2 \times 3.14} \frac{1}{33.25} \ln \frac{0.07}{0.04} = 546.84^\circ\text{C}, \quad t_3 = 250 + \frac{113116.9}{2 \times 3.14} \frac{1}{52.75} \ln \frac{0.15}{0.12} = 326.2^\circ\text{C}.$$

Градиенты температур через слои детали будут составлять  $\delta t_1 = t_1 - t_2 = 287.55^\circ\text{C}$ ,  $\delta t_2 = t_2 - t_3 = 222.19^\circ\text{C}$  и  $\delta t_3 = t_3 - t_4 = 80.26^\circ\text{C}$  для слоев с шаровидным, вермикулярным и пластинчатый графитом соответственно.

Эквивалентная теплопроводность  $\lambda_{\text{экв}}$  составит 42.19 (>40) Вт/(м×К), что является достаточным для эффективного отвода излишек тепла с рабочих поверхностей. Однако на процесс теплоотвода, а соответственно и на формирование полученного градиента температур могут влиять следующие факторы:

- изменение массы формового комплекта, а соответственно и градиента температур;
- присутствие упрочняемой наплавки на рабочих кромках изделий (толщина которой значительно варьируется в зависимости от конфигурации внутренней полости и выбора стеклоформирующего автомата);
- наличие каналов для воздушного охлаждения (рис. 5, б) формы, что значительно уве-

личивает теплоотвод через внешний слой материала детали и снижает градиент температур в чугуне в зоне с пластинчатым графитом.

Так как условия образования термоусталостного разрушения детали стеклоформы определяются видом нагруженного состояния в зоне потенциального трещинообразования при термоциклическом нагружении [8], то на критические условия разрушения при неизо-тремическом нагружении существенно влияет знак циклической пластической деформации при максимальной температуре цикла. Таким образом, для деталей стеклоформ присуще сочетание температурного (нагрев↔охлаждение) и силового (удар стекломассы↔удаление стеклоизделия из формы) циклов: деформация сжатия осуществляется при максимальной температуре разогрева формокомплекта, а деформация растяжения – при минимальной температуре цикла. Такой вид нагружения реализуется лишь в поверхностных слоях, где знакопеременность нагрузок находится в максимальном диапазоне. Условный температурный цикл эксплуатации материала представлен на рис. 6, где  $\tau_{\text{выд}}$  – продолжительность контакта расплавленного стекла со стенками формового комплекта, а  $\tau_{\text{цикл}}$  – общее время цикла.

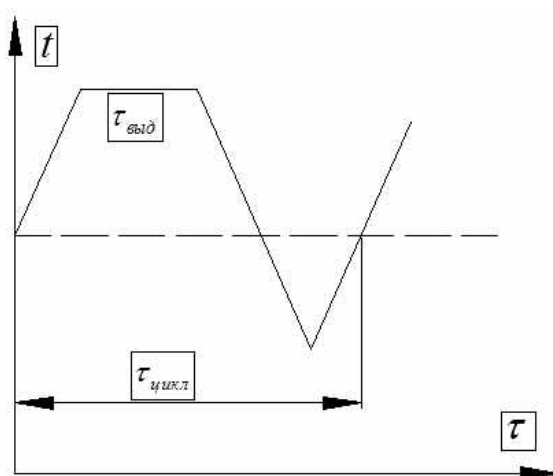


Рис. 6. Схема термического нагружения детали стеклоформы при нестационарном тепловом воздействии

Повреждаемость материала – это приводящий к разрушению процесс необратимых изменений, протекающих в материале под действием напряжений в условиях высоких температур [8]. В деталях стеклоформ этот процесс проявляется под действием двух механизмов: протеканием структурных трансформаций (изменение фазового состава, охрупчивание поверхностных слоев, деформация по границам зерен, сдвиговые зерновые процессы, субмикроскопические разрывы и пр.) и изменением состояния поверхности изделия (окисление, образование задиров стекломассы, выкрашивание структурных компонентов и пр.). При этом градация всех перечисленных изменений в теле детали позволяет установить, что существенным фактором в формировании повреждений в стеклоформе является действие циклического термического нагружения, обусловленного именно неравномерностью температур в нестационарном температурном режиме работы.

### Измерение эксплуатационных характеристик деталей стеклоформ

В большинстве работ [8, 9] утверждается, что причиной выхода из строя деталей является термическая усталость их материала, в результате чего проводятся испытания образцов выбранного материала с варьируемой жесткостью нагружения, при этом сочетание термического и силового нагружения (стеснение термической деформации, высокая температура) приводит к формированию преимущественно деформаций сжатия. Из общих соображений вытекает, что чувствительность детали к трещинообразованию при циклических нагруз-



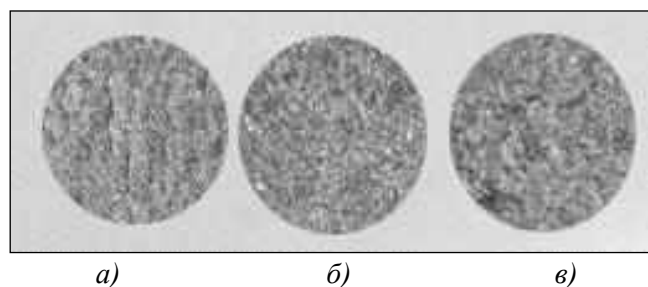
ках определяется склонностью ее структурных компонентов к трансформации в процессе эксплуатации под действием переменных деформаций сжатий и растяжений. Очевидность этого явления подтверждается исследованиями отечественных и зарубежных ученых [10,11]. Наиболее оптимальным как с точки зрения точности измерения, так и с точки зрения адекватности получаемых результатов является измерение электрического сопротивления ( $\Omega$ ) в образцах (изготовленных из материала детали) до и после их термоциклирования, которое позволит оценить изменчивость структуры (передислокация зерен, коалесценция графитовых включений и пр.) на разных этапах эксплуатации формового комплекта. Природа изменения  $\Omega$  в процессе эксплуатации деталей стеклоформ аналогична изменению теплопроводности материала с ростом температуры разогрева формового комплекта. Повышение  $\Omega$  материала в процессе эксплуатации формовых комплектов, по мнению авторов, связано с: неизбежной трансформацией структурных компонентов, в особенности высокоуглеродистой фазы (например, изменением свойств графита – коэффициента линейного расширения, теплопроводности и т.п. – относительно его плоскости базиса); появлением окисных плен в местах скопления дефектов несплошности металла; повышенной адгезией расплавленного стекла и основного металла детали; проникновением атомов расплавленного стекла в поверхностные слои детали; появление в местах наибольшей дефектности изолирующих межкристаллических пленок и т.д. Все описанные процессы аналогичным образом влияют на эквивалентную теплопроводность детали, снижая ее термостойкость в целом.

С целью подтверждения данной теории авторы провели экспериментальные работы по изучению изменения  $\Omega$  в материале детали стеклоформы в зависимости от уровня подвергнутой термической нагрузке при эксплуатации и "структурного состояния" исходных образцов. Ключевыми условиями проводимых экспериментов являлись:

- одинаковый темп тепловой нагрузки (один и тот же стеклоавтомат);
- одинаковые размеры образцов для измерения электросопротивления ( $\varnothing 10 \times 25$  мм).

Образцы для измерения  $\Omega$  вырезались из различных частей реальных деталей стеклоформ ввиду того, что литые образцы имеют ряд особенностей, не позволяющих подвергать их экспериментам [11]: тонкие поверхностные слои литых образцов (литейная корочка) не содержат графитовых включений, что оказывает существенное влияние на термоэлектродвижущую силу и искомое электросопротивление  $R$ ; точность размеров образцов после литья не соответствует выбранному эталону ( $\varnothing 10 \times 25$  мм).

Изломы вырезанных образцов из детали с градиентной структурой для получения макрошлифов представлены на рис. 7.



**Рис. 7. Изломы вырезанных цилиндрических образцов из стеклоформы с градиентной структурой на глубинах:**  
 $a - 10$  мм;  $б - 35$  мм;  $в - 55$  мм

В работе [9] автор предлагает для измерения  $\Omega$  использовать принцип двойного моста, а для исключения влияния термоэлектродвижущей силы каждый образец (рис. 8,  $a$ ) измерять при прямом и обратном направлении тока (рис. 8,  $б$ ). В представленной схеме "равновесность" измерений достигается равенством устанавливаемых сопротивлений  $R_1=R_3$  и  $R_2=R_4$ . При этом

$$R_x = R_N \frac{R_1}{R_2}, \quad (9)$$

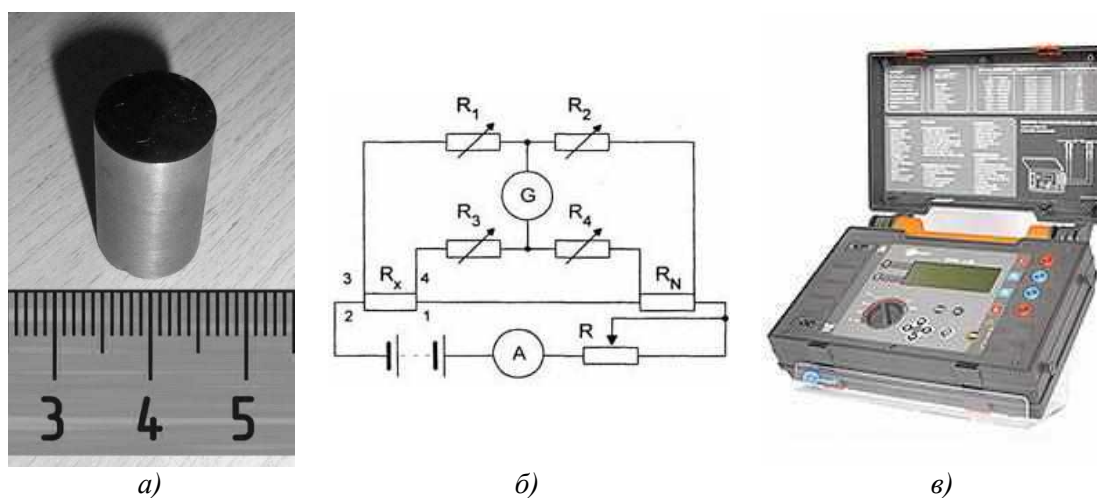
где  $R_N$  – образцовое сопротивление и составная часть моста.

К измеряемому сопротивлению  $R_x$  присоединяются провода: 2 – продолжение цепи питания моста; 3, 4 – включаются последовательно с сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  величиной больше 10 Ом, так что их влияние ограничено; 1 – составная часть моста. Во избежание ошибок и для предотвращения повреждений гальванометра ( $G$ ) измерение  $\Omega$  производят при уже установившемся токе в цепи.

С целью исключений влияния внешних факторов образцы подвергались повторному циклу измерений  $\Omega$  на микроомметрах ММР-620 и БСЗ-010-2 (рис.8, в), принцип действия которых основан на измерении величины падения напряжения на измеряемом сопротивлении при прохождении через него оперативного тока заданной величины с измерением индуктивных сопротивлений с постоянной во времени не более 50 мс. Выбранный диапазон измерений составлял 10 нОм-10 кОм, предел допустимого значения погрешности измерения – менее 0.25%.

Таким образом, качественная оценка состояния детали при ее термоциклировании проводилась по анализу повреждаемости структуры материала (дробление зерен, изменение форм структурных составляющих, изменение упрочняющей и релаксирующей фаз) и ее поверхностных слоев (трещинообразование, окисление), количественная – по изменению  $\Omega$ .

На основании этих данных осуществлялся принцип выбраковки деталей на производственной линии.



**Рис. 8. Измерение электрического сопротивления:**

*а* – образец для измерения сопротивления;

*б* – схема измерения по принципу двойного моста; *в* – измерительный прибор "ММР-620"

Согласно общеизвестным классическим теориям [12] сопротивление металла (как по падению теплопроводности, так и по снижению электропроводности) объясняется столкновением электронов с ионами кристаллической решетки. Градиент температуры (в случае деталей стеклоформ) создает различное электросопротивление в различных частях детали в процессе термоциклирования. В первую очередь это связано с процессом увеличения амплитуды колебаний ионов в узлах кристаллической решетки с повышением температуры. В связи с этим искомое сопротивление в детали стеклоформы будет определяться из формулы

$$R = R_0(1 + \alpha t) + R_d, \quad (10)$$

где  $R_0$  – электросопротивление детали на момент ее установки на стеклоавтомат, Ом;

$\alpha = R \frac{dR}{dt}$  - температурный коэффициент сопротивления материала детали,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;  $t$  - температура разогрева детали на производственной линии,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $R_d$  - сопротивление дефектов изготовления (микротрещина; влияние примесей – внедрение в матрицу чугуна С, S и Р; нарушение целостности кристаллической решетки и т.д.), Ом.

В результате измерений  $\Omega$  в вырезанных образцах были получены данные о ходе структурных изменений в деталях при термоциклическом нагружении (табл. 2). Из результатов измерений видно, что при использовании СЧ в качестве материала для деталей стеклоформ наибольшую стойкость имеют детали с низким электросопротивлением  $\Omega$  и с минимальным его приростом после термоциклирования материала (обр. 1, 2, табл. 2). В образцах из СЧ, легированных Cr, Ni, Ti, Mo и V (обр. 4, 5, табл. 2), наблюдалось аномальное снижение  $\Omega$  во времени и повышение в связи с этим электро- и теплопроводности материала детали. Это объясняется эффектом легирования чугуна вышеперечисленными добавками (повышающие электропроводимость феррита, устраняющие формирование окисных плен и трансформирующие графитовые включения), что снискало положительные отзывы производителей при использовании такого материала при изготовлении деталей для черновых формокомплектов. Низкое  $\Omega$  было обнаружено и в обр. 3, что проявило себя в значительной степени при эксплуатации – стойкость комплекта превысила 0.5 млн теплосмен. Однако применение такого материала для чистовых форм показало низкий уровень стойкости (0.2-0.35 млн циклов), ввиду появления трещин разгара на поверхности детали, что исключает перспективность его использования для деталей чистовых формокомплектов.

Таблица 2

## Результаты

| Образец | Материал образца                                                                                 | Число отстоявших теплосмен, тыс. | Измеренное электрическое сопротивление <sup>2</sup> , $10^{-6}$ Ом |            |            |            |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|
|         |                                                                                                  |                                  | Принцип двойного моста                                             |            | Прибор     |            |
|         |                                                                                                  |                                  | До                                                                 | После      | До         | После      |
| 1       | СЧ                                                                                               | 250                              | 0.98                                                               | 1.11       | 0.95       | 0.11       |
| 2       | СЧ                                                                                               | 300                              | 0.96                                                               | 1.03       | 0.93       | 0.99       |
| 3       | СЧ                                                                                               | 500                              | 0.88                                                               | 0.89       | 0.90       | 0.92       |
| 4       | СЧ легированный Cr, Ni, Ti, Mo и V                                                               | 350                              | 0.93                                                               | 0.92       | 0.93       | 0.89       |
| 5       | СЧ легированный Cr, Ni, Ti, Mo и V                                                               | 350                              | 0.91                                                               | 0.89       | 0.94       | 0.90       |
| 6       | Перлит-ферритный ЧВГ                                                                             | Нет данных                       | Нет данных                                                         | 1.11       | Нет данных | 1.24       |
| 7       | Перлит-ферритный ВЧ                                                                              | 350                              | 1.19                                                               | 1.54       | 1.12       | 1.41       |
| 8       | ВЧ легированный Si (ферритный)                                                                   | 350                              | 1.35                                                               | 1.31       | 1.32       | 1.08       |
| 9       | Перлит-ферритный ВЧ $\rightarrow$ ЧВГ легированный Cr, Ni, Ti, Mo и V                            | 450                              | 1.22                                                               | 1.27       | 1.34       | 1.35       |
| 10      | Ферритный чугун с градиентной структурой (ВЧ $\rightarrow$ ЧВГ $\rightarrow$ СЧ) легированный Si | >600                             | 1.09                                                               | Нет данных | 1.09       | Нет данных |

При применении в качестве материала для деталей стеклоформ перлит-ферритных ЧВГ и ВЧ (обр. 6, 7, 8, табл. 2), наибольший результат был достигнут при использовании их в качестве чистовых формокомплектов. В виду того что они обладают высоким запасом вяз-

<sup>2</sup> Разницу измерений микроомметрами и методом двойного моста можно объяснить разным переходным сопротивлением в областях контактов измеряемых образцов и клемм, а также разной величиной подаваемого оперативного тока через исследуемый образец.

кости материала (при наличии феррита) это оказывает положительный эффект на трещиностойкость чугуна под действием циклических теплосмен. Однако высокая степень изменчивости такой структуры (протекание графитизации и ферритизации, влекущие за собой резкое изменение  $\Omega$ ) в процессе эксплуатации не позволяет добиться высоких показателей стойкости формовых комплектов на линии.

Наибольшего ресурса эксплуатации деталей чистовых стеклоформ удалось добиться при использовании дифференцированного чугуна ( $ВЧ \rightarrow ЧВГ$ ) и чугуна с градиентным расположением графита ( $ВЧ \rightarrow ЧВГ \rightarrow СЧ$ ), которые показали более высокие показатели стойкости и низкой трансформационной активности (изменение  $\Omega$ ) (обр. 9, 10, табл. 2).

### Заключение

Анализ источников, освещающих механизмы термоциклического разрушения деталей, позволяет заключить, что природа образования повреждений в деталях стеклоформ при термоциклических нагрузках сложна и мало изучена, и до настоящего времени отсутствуют какие-либо прямые методы измерения, оценки и прогнозирования трещинообразования в материале детали, что позволяет лишь оценивать ее по показателям ресурсоспособности формовых комплектов на производственной линии в условиях конкретного стеклотарного завода. Применение простого в эксплуатации способа измерения электрического сопротивления материала позволяет оперативно оценить уровень нарушения исходного структурного соответствия в деталях стеклоформ, а также прогнозировать степень дальнейшего хода разрушения (скачкообразного сформированного изменения  $\Omega$ ).

Применение деталей стеклоформ с градиентной структурой литья позволяет обеспечить направленный теплоотвод в теле детали (повышение  $\lambda$  и снижение  $\Omega$  от внутренних поверхностей к периферии), а также сформировать необходимый уровень прочностных показателей рабочих кромок.

Грамотный подход в освоении технологии изготовления отливок с градиентной структурой и контроль структурной трансформации (методом измерения электрического сопротивления) в изготовленных из них деталях позволяют добиться:

- существенного повышения ресурса эксплуатации формовых комплектов на линии – не менее чем в два раза по сравнению с общеизвестными – до 0.8 млн выдерживаемых термоциклов;
- своевременного обнаружения деталей с высокой степенью изменчивости исходного структурного соответствия с целью изъятия их с производственной линии к моменту допустимой ремонтпригодности.

На данный момент готовые детали стеклоформ с градиентной структурой литья эксплуатируются на стеклоавтоматах У8 (г. Можга, Республика Удмуртия).

### Библиографический список

1. Информационный портал "НаукаКом". Все о стекле и не только [Электронный ресурс] / "НаукаКом". – Электрон. текстовые данные. – М.: [б.и.], 2013. – Режим доступа: <http://naukakom.ru/sovety-professionalov/dlya-vyduvaniya-izdelij-srednej-i-bolshoj-emkosti.html>.
2. Информационно-маркетинговый портал "Стеклоформа". Производители стеклоформирующей оснастки [Электронный ресурс] / "Стеклоформа". – Электрон. текстовые данные. – Киев: [б.и.], 2013. – Режимы доступа: <http://www.officinesl.com>, <http://www.zitzmann.com>, <http://www.inhom98.com>.
3. Бобро, Ю.Г. Легированные чугуны / Ю.Г. Бобро. – М.: Metallurgy, 1976. – 288 с.
4. Чистяков, Д.Г. Формирование градиентной структуры в деталях стеклоформ из чугунов с различной степенью глобуляризации графита / Д.Г. Чистяков, И.О. Леушин // Труды 10-й Международной научно-технической конференции "Современные металлические материалы и технологии" (СММТ'13). 2013. С. 253–254.
5. Бабичев, А.П. Физические величины: справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина,

- А.М. Братковский [и др.]; под ред. И.С. Григорьева и Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
6. **Герасимов, В.В.** Материалы ядерной техники: учебник для вузов / В.В. Герасимов, А.С. Моныхов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.
  7. **Александров, М.В.** Формирование градиентной структуры в деталях стеклоформ из чугунов с различной морфологией графита / М.В. Александров, Д.Г. Чистяков // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №3(100). С. 219–229.
  8. **Туляков, Г.А.** Термическая усталость в теплоэнергетике / Г.А. Туляков. – М.: Машиностроение, 1978. – 199 с.
  9. **Дульнев, Р.А.** Термическая усталость металлов / Р.А. Дульнев, П.И. Котов. – М.: Машиностроение, 1980. – 200 с.
  10. **Федосов, А.И.** Оценка термостойкости серого чугуна по электросопротивлению / А.И. Федотов // Литейное производство. 1974. №1. С. 21–22.
  11. Hoff O., Andersen P. Some investigation on the surface layer of grey iron casting. 35 International congress foundry. Tokyo "Japan Foundrymens" Soc., 1968, 17/8.
  12. **Ковалёв, Н.Ф.** Физическая энциклопедия / Н.Ф. Ковалев, М.А. Миллер; под ред. А.М. Прохорова. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. Т. 5. – 760 с.

*Дата поступления  
в редакцию 03.02.2014*

**I.O. Leushin, D.G. Chistyakov**

## **THE INCREASING OF OPERATIONAL STABILITY OF DETAILS GLASS-MOULDS BY IMPROVING OF TECHNOLOGY PRODUCTION AND CONTROL**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The specific challenges of premature failure of details glass-moulds used for the production of glass products in droves.

**Approach:** The way to improve thermal resistance of details glass-moulds is based on the theory of gradient location of the structural components of cast iron, which allows increase the durability of metal products and create high thermal conductivity.

**Finding:** The way of increasing the operational stability of details and method of control of key characteristics of the material.

**The value of the study:** This study improves resource use of metal products on the production line for the production of glass products.

**Value:** Application of the method of manufacturing of details with gradient structure allows to increase the operate resurs the forming complects and to reduce costs for expensive tooling, increases the reliability of the product as a whole.

*Key words:* cast iron, glass-mould, casting, heat resistance, electrical resistivity.

## ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 543.9:257.1:518.5

В.М. Востоков, В.М. Смирнова, Е.Г. Ивашкин

### СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА И ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АГРОБИОПРОИЗВОДСТВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ КОНТАМИНАЦИИ КОМБИКОРМОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Предложена комплексная система статистической оценки экологического риска и техносферной безопасности современных технологий рационального кормления сельскохозяйственных животных и птицы по статистическим картам экоконтроля и индексам воспроизводимости процесса  $C_p$  и  $C_{pk}$ . На примере системных статистических исследований и критериальных оценок результатов экомониторинга качества и токсической безопасности фуражного зерна и зернопродукции, загрязненной микотоксинами, показана реальная возможность статистического управления технологическим процессом изготовления сбалансированных и безопасных комбикормов.

*Ключевые слова:* система менеджмента качества биопродукции, токсическая безопасность; микотоксины, статистическая оценка экологического риска.

В условиях цивилизованных рыночных экономических отношений качество и безопасность промышленной продукции становится важнейшей экономической категорией. В связи с этим изменился взгляд как на проблемы достоверной оценки качества и безопасности промышленной биопродукции так и на вопросы контроля и управления качеством по результатам экоаналитического контроля биопроизводства.

По международным нормам менеджмента качеств серии *ISO 9000* сертифицируется не продукция, а само производство. Это позволяет оценивать качество и безопасность пищевой и сельскохозяйственной биопродукции по достоверным результатам выборочного экоаналитического контроля на всех критических производственных этапах с учетом требований заказчика и требований техносферной безопасности данного биопроизводства.

В последние годы, в связи с возрастающими требованиями по качеству биопродукции и по обеспечению техносферной безопасности предприятий биотехнологического профиля, опубликован целый ряд работ, где обсуждены вопросы управления качеством биопродукции, по результатам физико-химической диагностики промышленных биоматериалов и превентивной оценки экологического риска в рамках методологии "*Prevention Pollution*".

Так, в работах [1-4] было впервые указано на актуальную необходимость анализа биологически активных веществ (БАВ) с учетом специфических особенностей количественной оценки биологических объектов. При этом уже требуется одновременная оценка массовой доли БАВ ( $m_{\text{БАВ}}$ ) и его биологической (физиологической) активности -  $A_{\text{БАВ}}$ , которая не всегда коррелирует с найденной по результатам анализа величиной  $m_{\text{БАВ}}$ .

Величина  $A_{\text{БАВ}}$ , численно оцениваемая в международных единицах биологической активности (*IE* или *ME*), часто не бывает постоянной, так как она зависит от множества факторов внешнего воздействия на ожидаемый биологический эффект [3-5]. Здесь, как указано в

работах [2-8] ближе подходят статистические методы исследований и оценок сложных многофакторных биосистем.

В нормах государственной системы стандартизации (ГСС) не предусмотрено учитывать специфические особенности оценки биологических объектов. Более того, многие стандартные методики выполнения измерений (МВИ) были напрямую перенесены в заводские лаборатории (ЗЛ) биотехнологических производств из ЗЛ химических производств, где они прошли метрологическую аттестацию.

Но если для оценки качества и безопасности химической продукции достаточно оценить массовую долю контролируемого ингредиента, то для оценки качества биопродукции потребуются исследовать весь комплекс ингредиентов и факторов влияния на ожидаемый биологический эффект [4, 5]. Кроме того, для оценки массовой доли биотоксикантов по нормам ГСС всякий раз потребуются эталонные образцы указанных БАВ, которых обычно нет, так как эталон биоактивности практически невозможно сохранить в нестерильных условиях биопроизводства.

Значительные трудности изготовления и хранения точных биоэталонов, как и проблемы стандартизации (по нормам ГСС) некой оригинальной методики выполнения измерений (МВИ), адекватной многофакторному биопроцессу [3-5] – все это уже становится сдерживающим фактором создания на предприятии биотехнологического профиля комплексной системы менеджмента качества (СМК) и безопасности биопродукции.

СМК включает в себя две взаимосвязанные подсистемы:

- комплексную систему экоаналитического контроля качества биоматериалов на всех критических этапах биопроизводства;
- систему статистического управления биотехнологическим процессом по результатам выборочного контроля качества биопродукции [5-7].

Подобные эффективно действующие СМК, отвечающие международным нормам добровольной сертификации производств серии *ISO 9000*, уже давно нашли применение на предприятиях машиностроения и радиоэлектронной промышленности Евросоюза. Не менее целесообразно создать подобную СМК на каждом предприятии биотехнологического профиля, где статистическое управление многофакторным биотехнологическим процессом по результатам выборочного контроля позволит не только обеспечить стабильный выпуск доброкачественной биопродукции, но также объективно оценить уровень техносферной безопасности данного биотехнологического процесса.

Проблема скорейшей перестройки норм ГСС на международные нормы добровольной сертификации становится весьма актуальной.

В работах [5-8] даны убедительные доказательства того, что актуальные проблемы априорной оценки экологического риска биопроизводства нельзя решать в рамках системы обязательной сертификации ГСС. В последние годы происходит перестройка ГСС и сделаны реальные шаги, приближающие национальную “Систему обязательной сертификации ГОСТ Р” к Международным нормам сертификации, серии *ISO 9000*.

В 2010 г. была утверждена промежуточная модель добровольно – обязательной сертификации – “Система ГОСТ Р - ИСО 14000”. Более гибкая система сертификации уже позволяет проявлять творческую инициативу в сфере управления качеством. Возникла уникальная возможность не просто следовать нормам ГСС, а вносить коррективы в технический регламент производства, если это способствует дальнейшему росту качества и безопасности биопродукции и повышению уровня техносферной безопасности производства.

Важнейшим условием реализации “Системы ГОСТ Р - ИСО 14000” на предприятиях биотехнологического профиля является организация на каждом из них комплексной системы менеджмента качества (СМК), где на основе ранее установленных [3-6] научных принципов и критериев количественной оценки биологических объектов внедрены оригинальные МВИ, адекватные биопроцессу. Это отвечает международным нормам сертифика-

ции производства и требованиям заказчика в отношении качества и безопасности выпускаемой биопродукции.

В международной системе менеджмента качества *ISO 9000*, вобравшей в себя все лучшее из национальных систем добровольной сертификации, важнейшим является элемент 4.20 “Статистика” [8], в котором даны рекомендации по широкому внедрению в управление многофакторных процессов современных методов статистических исследований и оценок. Действительно, принятая в ГСС численная оценка качества и безопасности продукции по результатам сертификационных испытаний на их соответствие НД, как указано ранее, не всегда бывает достоверной.

Необходимо осуществлять системный подход к выбору приемлемой МВИ, адекватной биопроцессу, к выбору соответствующего метода статистической обработки результатов анализа, что позволит решить указанные проблемы управления качеством биопродукции и априорной оценки экологического риска биопроизводства по статистическим картам контроля (расчетно-графический метод), или по критериям воспроизводимости и надежности процесса  $C_p$  и  $C_{pk}$  (расчетно-аналитический метод) [5-8].

Так, применяя современный метод статистических исследований и критериальных оценок, можно по результатам выборочного контроля выявить основные источники систематической погрешности, а после их удаления вычислить величину стандартного отклонения  $S$  для данной выборочной дисперсии результатов измерений по уравнению:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_m)^2}{n-1}}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – текущее значение результатов измерений;  $x_m$  – среднее арифметическое результатов измерений;  $n$  – объем выборки.

Далее по величине  $S$  нетрудно вычислить доверительный интервал ( $ДИ = x_m \pm \varepsilon$ ) для истинного результата измерений –  $\mu$  [8]. Но для вычисления точного значения ДИ, по Гауссу, в зависимости от объема выборочной дисперсии ( $n \neq \infty$ ) всякий раз потребуются сделать оптимальный выбор одного из трех возможных вариантов расчета численного значения абсолютной случайной погрешности –  $\varepsilon$ . Так, при малой выборке, с  $n < 16$ , востребованы обе поправки Стьюдента. Это табличный коэффициент  $t_{\alpha, f}$  и приведенное значение стандартного отклонения  $S_m = S / \sqrt{n}$ .

Если объем выборки  $n \gg 16$ , то поправки Стьюдента не нужны, а  $\varepsilon = S$ . Но при  $n < 16$  численное значение случайной погрешности вычисляют по формуле:  $\varepsilon = S t_{\alpha, f}$ , а при  $n \ll 16$  используется расчетная формула  $\varepsilon = S_m t_{\alpha, f}$ .

Данный пример неоднозначного вычисления случайной погрешности измерений косвенно указывает на то, что закон нормального статистического распределения (ЗНР) лишь тогда справедлив, когда выполняются два основных постулата Гаусса:

1. Объем выборки  $n$  равен бесконечности ( $n = \infty$ ).
2. Все отклонения от истинной величины  $\mu$  являются случайными.

Тогда, в отсутствии значимого источника систематического отклонения от истинной величины  $\mu$ , среднее значение всей совокупности результатов параллельных измерений –  $x_m = \mu$ , а кривая гауссова статистического распределения принимает колоколообразный вид, с зеркально ниспадающими ветвями нормального статистического распределения генеральной совокупности случайных величин  $x_i$ .

В реальности статистическое распределение часто бывает аномальным или, в лучшем случае, распределением смешанного типа, где имеют место как случайные, так и систематические отклонения от нормы  $\mu$ . А если данная выборочная дисперсия не отвечает ЗНР, то при  $n \ll \infty$  расчеты по формулам Гаусса не всегда могут быть достоверными, в случае количественной оценки многофакторных и многопараметровых эко- или биосистем.

Но учитывая, что статистика Гаусса давно реализована в стандартных компьютерных программах, возникает необходимость ее дальнейшего практического использования. Даже в критической ситуации, касательно неправомерной статистической оценки результатов из-



мерений для дисперсии с малой выборкой  $n < 16$ , указанная проблема несоответствия ЗНР может быть успешно решена, если воспользоваться поправками Стьюдента. Это позволяет уменьшить ошибку измерений, обусловленную малым объемом выборки  $n$ .

Таким образом, для достоверной статистической оценки экологического риска и техносферной безопасности биопроизводства всякий раз потребуются выбор оптимального метода статистических исследований и оценок результатов выборочного контроля многопараметровой, многофакторной и синергентной биосистемы [6].

Подобное статистическое моделирование многофакторного биопроцесса позволяет выявлять специфические особенности конкретной биосистемы, а также осуществлять управление биопроцессом по статистическим картам контроля и по универсальным численным критериям воспроизводимости и надежности ( $C_p$  и  $C_{pk}$ ) [7, 8].

В указанных работах [7, 8] впервые было предложено управлять биотехнологическим процессом по результатам выходного контроля качества выпускаемой биопродукции с учетом специфических особенностей численной оценки равновесного состояния той или иной многопараметровой и многофакторной биосистемы. В данной работе также предлагается оценивать экологический риск и уровень техносферной безопасности биотехнологий по статистическим критериям  $C_p$  и  $C_{pk}$ , где их вычисляют по результатам локального мониторинга содержания токсикантов на всех критических этапах данного биопроизводства, что позволяет оценить его экологический риск, в рамках методологии "Prevention Pollution".

Универсальные индексы воспроизводимости биопроцесса  $C_p$  и  $C_{pk}$  зависят от величины  $S$  - стандартного отклонения выборочной дисперсии, вычисляемой по формуле (1). Так как величины  $C_p$  и  $C_{pk}$  косвенно связаны с нормами ПДК, отвечающими верхней (ВГД) или нижней (НГД) границе поля допуска, то они могут служить объективными критериями экологического риска и техносферной безопасности данного производства.

Индекс воспроизводимости процесса  $C_p$  вычисляется по формулам:

$$C_p = \frac{ВГД - НГД}{6S} \quad \text{или} \quad C_p = \frac{ВГД - ЦЛ}{3S}, \quad (2)$$

где: ВГД и НГД – верхняя и нижняя границы поля допуска; ЦЛ – центральная линия поля допуска;  $S$  – стандартное отклонение выборочной дисперсии.

Первую формулу следует применять, когда экологический риск оценивается сразу по обеим границам поля допуска. Так, экологический риск острого авитаминоза следует оценивать по НГД, а риск гипervитаминозного отравления пищевой или кормовой продукции можно оценить по ВГД.

Но если речь идет об оценке отравления, например, комбикормов микотоксинами, то достаточно принять за норму ПДК определяемого микотоксина верхнюю границу поля допуска (ВГД). Тогда величину  $C_p$  проще вычислить по второй из двух указанных формул (2), по которой можно исследовать отклонения текущих значений результатов контроля ( $x_i$ ) от нормы качества – центральной линии поля допуска (ЦЛ), но лишь для верхней его половины.

В данном случае статистическое исследование нижней половины поля допуска не имеет смысла, как и не востребовано численное значение НГД.

Зато в расчетно-графическом методе определения экологического риска по результатам мониторинга качества и безопасности фуражного зерна, контаминированного афлотоксинами, где потребуется построить либо  $\bar{x}$  – карту, либо  $R$  – карту контроля [8], для оценки стабильности процесса контаминации зерна невозможно обойтись без НГД (рис. 1).

Индекс надежности  $C_{pk}$ , по которому оцениваются реальные возможности процесса контаминации зерна, с учетом систематического отклонения от нормы качества под воздействием внешних факторов влияния на уровень микотоксикоза, вычисляется по формуле:

$$C_{pk} = \frac{\text{ВГД} - \mu}{3S}, \quad (3)$$

где  $\mu$  - истинный результат (среднее арифметическое данной выборочной дисперсии).

Реальные возможности любого процесса всегда ниже потенциальных, так как под влиянием различных факторов внешнего воздействия происходит децентрирование исследуемого биопроцесса. Коэффициент децентрирования процесса находится в пределах  $k = 0-1$ , поэтому  $C_{pk} = C_p (1 - k)$ . Если  $k = 0$ , то процесс центрирован, а  $C_{pk} = C_p$ . Но если  $k = 1$ , то  $C_{pk} = 0$ . Тогда процесс становится не управляемым, так как он полностью децентрирован и практически «опрокинулся» [7, 8]. Как показано в работе [7], если  $C_p > 1$ , то потенциальная возможность процесса изготовления доброкачественной и безопасной биопродукции достаточно велика, так как при  $C_p > 1$  все результаты выборочного контроля находятся в пределах поля допуска, а вероятность случайного превышения нормы ПДК близка к нулю. Соответственно, в отсутствии источника систематического отклонения от установленной нормы ПДК ( $k = 0$ ,  $C_{pk} = C_p$ ) риск токсического загрязнения рационов кормления птицы будет минимальным. Наоборот, если  $C_p < 1$ , то ожидаемый экологический риск превышает допустимые нормы, как и велика вероятность развития острого микотоксикоза на последней стадии кормления животных и птицы.

Проблема микотоксикозов пищевого и фуражного зерна становится все более острой, так как зерно, выращиваемое в России и в странах СНГ, контаминировано микотоксинами. Наиболее опасные продукты метаболизма микроскопических несовершенных грибов указаны в табл.1 и табл. 2 [9, 12].

Таблица 1

## Гибридные методы анализа микотоксинов в пищевой и кормовой зернопродукции

| №<br>№<br>пп | Загрязнители<br>продукции              | ПДК<br>мг/кг     | Метод анализа и предел обнаружения,<br>мг/кг | НД Минздрава<br>РФ |
|--------------|----------------------------------------|------------------|----------------------------------------------|--------------------|
| 1            | Афлатоксины В1 и G                     | 0,001-<br>0,0005 | ТСХ-Флуориметрия (0,001)                     | МУ МЗ 2273-80      |
| 2            | Афлатоксин М <sub>1</sub>              | 0,0005           | ВЭЖХ-Флуориметрия (0,0001)                   | МУ МЗ 4082-86      |
|              |                                        |                  | ТСХ-Флуориметрия (0,0005)                    | МУ МЗ 2273-80      |
|              |                                        |                  | ВЭЖХ-Флуориметрия (0,00005)                  | МУ МЗ 4082-86      |
| 3            | Дезоксиниваленол,<br>(ДОН, Вомитоксин) | 0,05-<br>1,0     | ТСХ – Флуориметрия (0,2)                     | МУ МЗ 3940-85      |
|              |                                        |                  | ВЭЖХ – УФ-фотометрия (0,05)                  | МУ МЗ 5177-90      |
|              |                                        |                  | ТСХ-Флуориметрия (0,04)                      | МУ МЗ 2964-84      |
| 4            | Зеараленон                             | 1,0              | ВЭЖХ-Флуориметрия (0,005)                    | МУ МЗ 5177-90      |
|              |                                        |                  | ГЖХ-ДЭЗ (0,05)                               | МУ МЗ 3184-84      |
| 5            | Т-2 Токсин                             | 1,0              | ГЖХ – ДЭЗ (групповой) (0,001)                | ИНПИТ-90           |
|              |                                        |                  | ТСХ – Флуориметрия (0,02)                    | МУ МЗ 2655-82      |
| 6            | Патулин                                | 0,05             | ТСХ – Флуориметрия (0,01)                    | ГОСТ 28038-89      |
|              |                                        |                  | ТСХ – Флуориметрия (0,01)                    | МУ МЗ 3245-85      |
| 7            | Охратоксин А                           | 0,05             | ВЭЖХ-Флуориметрия (0,001)                    | ИНПИТ-92           |
|              |                                        |                  | ТСХ- Флуориметрия (0,02)                     |                    |
| 8            | Стеригматомицин                        | 0,025            | ВЭЖХ-УФ-фотометрия (0,003)                   | ИНПИТ-92           |

Причины интенсивного роста грибов в период вегетации и созревания зерновых культур, однако, пока еще не выяснены [10, 13], что указывает на значительные трудности достоверной численной оценки экологического риска и техносферной безопасности современных технологий кормления птицы. Здесь нужен комплексный подход к данной экоаналитической проблеме, где потребуются статистическая оценка результатов локального экологического мониторинга на всех критических этапах экологической цепи:

«природа – технология производства фуражного зерна и комбикормов – технологии рационального кормления птицы (молодняка, бройлеров, кур-несушек) – переработка птицепроductии - человек».

Таблица 2

**Результаты мониторинга уровня контаминации фуражного зерна микотоксинами**

| Месяц         | Микотоксины, мг/кг |        |         |        |        |        |
|---------------|--------------------|--------|---------|--------|--------|--------|
|               | Т-2                | ЗЕН    | ФУМ     | ОА     | В-1    | ДОН    |
| I             | 0,1035             | 0,0487 | 0,8489  | 0,0294 | 0,0026 | 0,2685 |
| II            | 0,0651             | 0,1489 | 3,4578  | 0,0995 | 0,0183 | 0,3615 |
| III           | 0,0576             | 0,0535 | 3,5087  | 0,0321 | 0,0785 | 0,8025 |
| IV            | 0,0632             | 0,0715 | 2,8046  | 0,2501 | 0,0048 | 0,3400 |
| V             | 0,1483             | 0,0550 | 2,9251  | 0,0274 | 0,0196 | 0,0847 |
| VI            | 0,0705             | 0,0547 | 3,0834  | 0,0109 | 0,0344 | 0,0933 |
| VII           | 0,0879             | 0,0505 | 1,9717  | 0,012  | 0,0034 | 0,2800 |
| VIII          | 0,0461             | 0,2101 | 3,6628  | 0,0785 | 0,0246 | 0,0800 |
| IX            | 0,0283             | 0,2779 | 4,4717  | 0,1050 | 0,0090 | 0,2523 |
| X             | 0,0588             | 0,4647 | 1,9304  | 0,1031 | 0,0392 | 1,2000 |
| XI            | 0,3428             | 0,0605 | 1,7055  | 0,1340 | 0,0865 | 1,6300 |
| XII           | 0,2206             | 0,0731 | 14,7631 | 0,0200 | 0,0036 | 1,0930 |
| Средн. за год | 0,0914             | 0,1532 | 3,6234  | 0,0817 | 0,0304 | 0,4811 |

В данном случае, вмешательство человека в технологию рационального кормления птицы сводится к обеспечению минимального уровня контаминации фуражного зерна и зернопродукции, используемой в производстве комбикормового сырья, необходимого для составления сбалансированных и безопасных рационов кормления птицы.

Но прежде чем проводить соответствующие мероприятия по снижению риска микотоксикозов, каждый раз потребуются идентифицировать наиболее опасные для птицы микотоксины. Одновременно потребуются установить реальный уровень природной контаминации зерна, зависящей от целого ряда факторов влияющих на рост микотоксикоза фуражного зерна.

Установлено, что нестабильные погодные условия и популярная ныне беспахотная обработка почвы ведет к росту микотоксикозов фуражного зерна [11, 12], а обработка растений фунгицидами не всегда ведет к успеху, так как они, снижая поражение зерна одними грибами, способствуют росту других микотоксинов за счет стресса от воздействия фунгицидов на соответствующие микроскопические грибы [10, 12, 13].

Все это указывает на необходимость системного подхода к решению острой проблемы снижения уровня токсической загрязненности фуражного зерна уже на первом этапе указанной экологической цепи. В качестве характерных примеров непредсказуемого поражения микотоксинами зерновых культур, выращиваемых в “житнице страны” – Краснодарском крае, в таблице 2 представлен среднемесячный уровень контаминации фуражного зерна за период 2012 г. [10].

По литературным данным [9-14] и данным табл. 1 – табл. 3 можно сделать вывод о том, что наиболее распространенными в РФ микотоксинами, загрязняющими фуражное зерно, являются следующие биотоксиканты: vomитоксин (ДОН), Т-2 токсин, зеараленон и афлатоксины. Наиболее опасным для птицы считается афлатоксин В1, имеющий наименьший среди них LD-50, а его ПДК порой не выше нанограммовых количеств (табл. 1).

Таблица 3

Статистическая оценка техносферной безопасности комбикормового сырья, используемого для приготовления безопасных и сбалансированных рационов кормления птицы

1. Оценка содержания афлатоксина В1 в фуражном зерне, мг/кг;  $n=12$

| месяц   | $C_{\text{афлгт В1, МГ/КГ}}$ | $\Delta x = x_i - x_m$ | $\Delta x^2$            | $S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_m)^2}{n-1}}$ | $C_p = (\text{ВГД-НГД}) / 6S$                  |
|---------|------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|
| I       | 0,0026                       | -0,02444               | $0,05973 \cdot 10^{-2}$ | 2,868                                       | $C_p = 0,58$<br>$C_{pk} = 0,27$<br>$k = 0,535$ |
| II      | 0,0183                       | -0,00874               | $0,00764 \cdot 10^{-2}$ |                                             |                                                |
| III     | 0,0785                       | 0,05146                | $0,26480 \cdot 10^{-2}$ |                                             |                                                |
| IV      | 0,0048                       | -0,02224               | $0,04946 \cdot 10^{-2}$ |                                             |                                                |
| V       | 0,0196                       | -0,00744               | $0,00555 \cdot 10^{-2}$ |                                             |                                                |
| VI      | 0,0344                       | 0,00736                | $0,00542 \cdot 10^{-2}$ |                                             |                                                |
| VII     | 0,0034                       | 0,02364                | $0,05588 \cdot 10^{-2}$ |                                             |                                                |
| VIII    | 0,0246                       | 0,00244                | $0,00060 \cdot 10^{-2}$ |                                             |                                                |
| IX      | 0,0090                       | 0,01804                | $0,03254 \cdot 10^{-2}$ |                                             |                                                |
| X       | 0,0392                       | 0,01216                | $0,01479 \cdot 10^{-2}$ |                                             |                                                |
| XI      | 0,0865                       | 0,5946                 | $0,35355 \cdot 10^{-2}$ |                                             |                                                |
| XII     | 0,0036                       | -0,02344               | $0,05494 \cdot 10^{-2}$ |                                             |                                                |
| Ср. год | $x_m = 0,02704$              |                        |                         |                                             |                                                |

Трудности количественной оценки биологической активности указанных токсикантов обусловлены различными причинами, прежде всего, различным синергентным воздействием тех или иных микотоксинов на кур-несушек, на бройлеров и на молодняк птицы. Более того, для достоверной оценки качества комбикормов потребуются учитывать последствия мероприятий, проводимых с целью подавления микотоксикозов. Среди них наиболее действенными являются два известных способа снижения уровня контаминации фуражного зерна: фунгицидный и адсорбционный.

Фунгицидный способ подавления микотоксикозов реализуется путем добавления к фуражному зерну соответствующего фунгицида, подавляющего развитие микотоксикоза. Однако добавление некоторых фунгицидов, в частности, - тебуконазола и флюхинконазола не только не уменьшают, а наоборот, увеличивают контаминацию зерна вомиотоксином (ДОН). Также фунгицид азоксистробин, угнетая рост малоопасной плесени, катализирует рост более опасных грибов вида *Fusarium*.

Указанный способ обеспечения токсической безопасности кормов изучен недостаточно. Но ясно одно, что его можно применять лишь на первом этапе экологической цепи “природа - биотехнологии - человек”, так как сами фунгициды могут быть опасными загрязнителями биосферы.

Менее опасным способом уменьшения контаминации зерна является добавка к кормам специальных сорбентов, поглощающих микотоксины и снижающих общий уровень микотоксикозов. Однако в последние годы изменился взгляд на эффективность и надежность указанного способа управления качеством и безопасностью кормов.

Дело в том, что специфические сорбенты, поглощающие микотоксины, а именно, бентониты, цеолиты и алюмосиликаты кальция, магния и натрия, с включениями некоторых ферментов и органических кислот, связывают лишь особо опасные для птицы афлатоксины. При этом, однако, не обеспечивается полная сорбция менее опасных микотоксинов, которые благодаря своему биохимическому синергизму могут представлять не меньшую опасность, чем афлатоксины [9, 13]. К тому же бентониты и алюмосиликаты сорбируют не только афлатоксины, но и иные полезные БАВ: микроэлементы, витамины и пр.

Так, они способны связать [11] почти весь кальций; до 18% меди; 14% цинка, что вредно для птицы, так как нарушается кормовой баланс. В связи с этим доза сорбента в рационах кормления птицы должна быть оптимальной – достаточной для снижения уровня

микотоксикоза до допустимых пределов. Но она не должна быть и избыточной, приводящей к разбалансированию рационов кормления птицы.

Таким образом, проблему обеспечения безопасности производства сбалансированных рационов кормления птицы невозможно решить, если при выборе способа деконтаминации зерна, входящего в состав комбикормов, не будут учитываться особенности воздействия микотоксинов на развитие кур-несушек, бройлеров и молодняка, у которых величины LD50 существенно различаются.

Так, если комбикорм для птицы контаминирован афлатоксинами, то приоритет имеет сорбционный способ подавления микотоксикозов, так как правильно выбранный сорбент способен понизить уровень афлатоксикоза до нормы ПДК. Это позволяет уменьшить дозу сорбента до допустимых пределов и избежать потерь сорбируемых полезных ингредиентов.

Для статистической оценки и управления безопасностью данного процесса рационального кормления птицы потребуются комплексный, системный подход к решению острых проблем контаминации фуражного зерна и к вопросам оптимального выбора точных и чувствительных, но доступных экспрессных методов и средств экоаналитического контроля контаминированной зернопродукции.

В табл. 1 представлены наиболее популярные, высокочувствительные и доступные гибридные методы анализа микотоксинов, применение которых позволяет оценить экологический риск технологии рационального кормления птицы по результатам локального экомониторинга “в поле” и на производстве, в ЗЛ птицефабрики.

Важнейшим достоинством указанных в табл. 1 гибридных методов анализа является их широкая доступность при сохранении чувствительности, близкой к нормам ПДК. Подробное описание стандартных, гибридных МВИ дано в соответствующих НД (табл. 1). В работе [14] представлены оригинальные способы количественного определения афлатоксина В1, содержание которого в некоторых видах пищевой или комбикормовой продукции не может превышать 0,001 мг/кг.

Таким образом, комбинация приемлемых методов концентрирования, разделения и количественного определения микотоксинов позволяет получать достаточно достоверные и воспроизводимые результаты экоаналитического контроля, которые удобно использовать в статистических исследованиях и оценках многофакторных эко- и биосистем.

Как указано ранее, умелое использование современных методов статистических исследований и оценок позволяет управлять процессом рационального кормления птицы и регулировать данный процесс по достоверным результатам экоаналитического контроля.

В табл. 2 приведены результаты годового мониторинга среднемесячных содержаний шести наиболее распространенных микотоксинов, а именно, Т2-токсин; зеараленон; фузонизин; охратоксин А; афлатоксин В1; дезоксиниваленол (ДОН), для определения которых применен метод тонкослойной хроматографии на стандартных пластинах “Silufol”, с флуориметрическим детектированием аналитического сигнала. Из полученных данных можно сделать вывод о том, что имеет место сезонная контаминация фуражного зерна, характерная для каждого микотоксина.

Статистические исследования и результаты экоаналитического контроля фуражного зерна урожая 2012 г. позволяют оценить как годовой, так и среднемесячный экологический риск возникновения острых микотоксикозов либо по статистическим картам контроля (расчетно-графический метод), либо по индексам воспроизводимости процесса  $C_p$  и  $C_{pk}$ .

В качестве примера достоверной статической оценки экологического риска использования фуражного зерна, контаминированного афлатоксинами, в технологиях рационального кормления птицы (рис.1) представлена карта среднемесячных значений ( $\chi$ -карта) содержания афлатоксинов (мг/кг) в фуражном зерне урожая 2012 г. В ней нашел подтверждение уже известный факт [12] того, что наибольший риск возникновения острого афлатоксикоза наблюдается в весенний и осенний сезон времени года. Именно, в марте и ноябре уровень контаминации зерна афлатоксином В1 намного превышает ВГД – верхнюю границу поля до-

пуска, что указывает на необходимость срочного подавления афлатоксикоза, путем внесения в фуражное зерно соответствующих ингибиторов микотоксикоза.

В табл. 3 приведены результаты среднемесячного экоаналитического контроля качества фуражного зерна, загрязненного афлатоксином В1, по которым найдена величина стандартного отклонения выборочной дисперсии  $S$ , которая здесь является единственным статистическим критерием воспроизводимости процесса контаминации зерна на первом этапе его производства, транспортировки и хранения. Расчеты показали, что величина стандартного отклонения  $S$  от нормы качества  $\mu \neq x_m$  превышает допустимые пределы, так как численное значение  $S$  соизмеримо с текущими значениями результатов выборочного контроля -  $x_i$ , что указывает на то, что размах отклонений текущих значений  $x_i$  от  $\mu = x_m$  может многократно превышать верхнюю границу поля допуска ВГД (рис. 1).

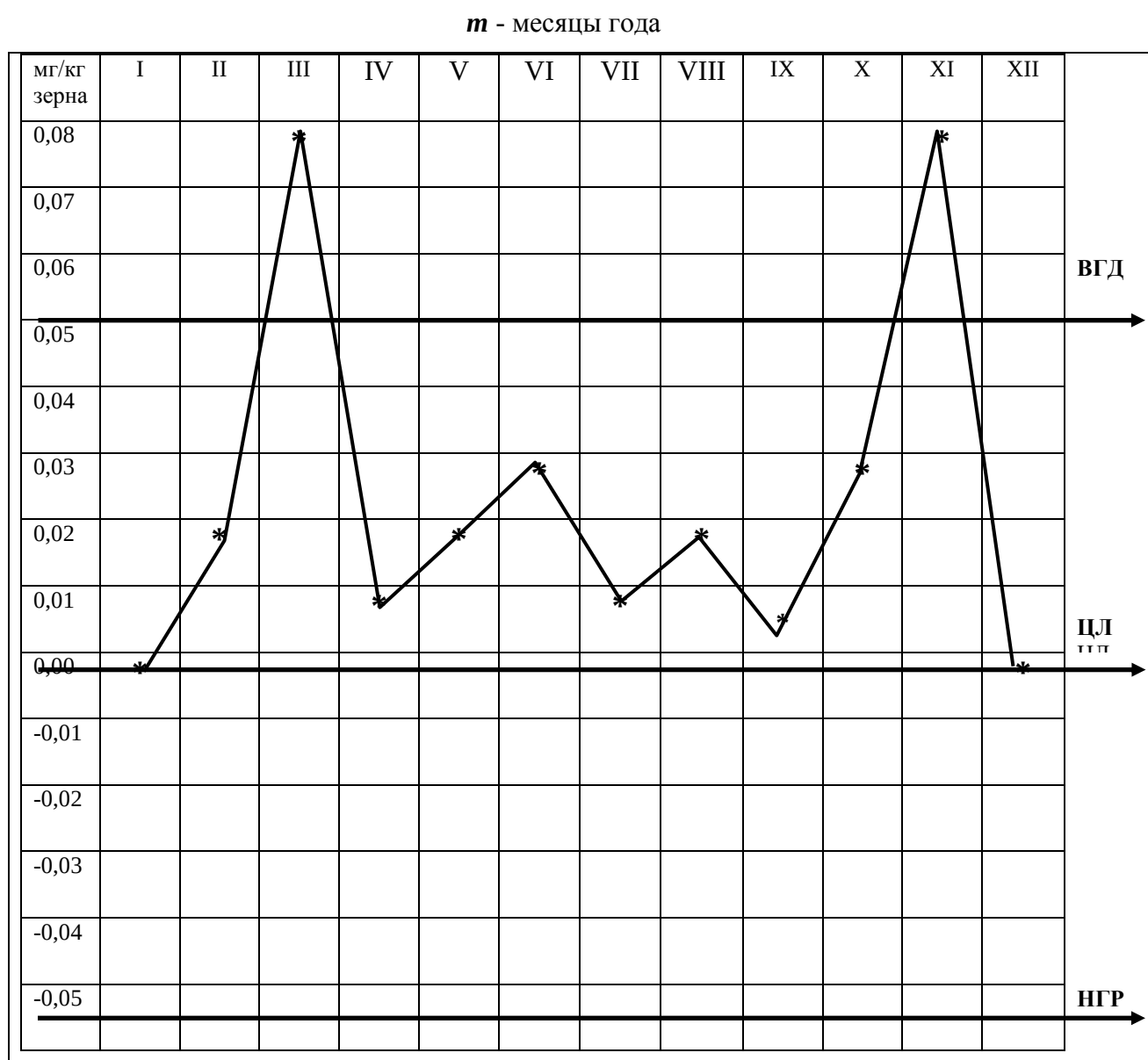


Рис. 1. Мониторинг среднемесячного уровня контаминации фуражного зерна афлатоксином В1 (х- карта контроля,  $m = 12$ )

Более полной статистической характеристикой процесса контаминации фуражного зерна являются индексы потенциальной и реальной воспроизводимости процесса  $C_p$  и  $C_{pk}$ , вычисляемые по формулам (2) и (3). В данном случае  $C_p = 0,58$ . Но как указано выше, если

$C_p < 1$ , то это уже свидетельствует о плохой воспроизводимости и непредсказуемости указанного процесса контаминации зерна на первом этапе производства комбикормов. Следовательно, данное фуражное зерно оказалось непригодным для рационального кормления птицы. Поэтому при составлении безопасных рационов потребуется провести ряд дополнительных технологических операций по переработке контаминированного фуражного зерна, касательно уменьшения уровня афлатоксикоза до нормы ПДК, путем внесения в зерно соответствующих фунгицидов или сорбентов.

Как было указано ранее, процесс деконтаминации зерна должен быть управляемым по статистическому критерию ( $C_{pk} > 1$ ). Изначально индекс надежности процесса, характеризующий его реальные возможности, оказался  $C_{pk} = 0,27$ . Полученное  $C_{pk} < C_p$  указывает на децентрирование процесса, вызванное определенным источником систематического отклонения от нормы качества фуражного зерна.

Так как  $C_{pk} = C_p (1 - k)$ , то вычисление коэффициента децентрирования процесса, изменяющегося в пределах  $k = 0 \div 1$  не только способствует выявлению значимого источника систематического отклонения от нормы качества, но и позволяет управлять процессом деконтаминирования зерна по величинам  $C_p$ ,  $C_{pk}$  и  $k$ .

В данном случае  $k = 0,535$  и свидетельствует о значимом источнике систематического отклонения от нормы качества фуражного зерна, обусловленном поражением зерна афлотоксином В1. Также по аналогичной схеме, могут быть выявлены иные источники возникновения острого микотоксикоза на любом этапе технологического процесса рационального кормления сельскохозяйственных животных и птицы.

Комплексный, системный подход управления качеством и безопасностью биопroduкции с учетом специфики количественной оценки биологических объектов позволяет оценивать экологический риск того или иного предприятия агропромышленного комплекса, а также управлять биотехнологическим процессом по результатам выборочного экоаналитического контроля, по статистическим показателям воспроизводимости многофакторного биопроцесса в рамках современной методологии *Prevention Pollution*.

#### Библиографический список

1. **Востоков, В.М.** Особенности экоаналитического контроля биотехнологических производств / В.М. Востоков, А.Н. Давыдов, Е.Г. Ивашкин // Материалы VII Всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среды «Экоаналитика-2009». – Йошкар-Ола. 2009. С.79-80.
2. **Востоков, В.М.** Оценка экологического риска биопроизводства / В.М. Востоков, В.М. Смирнова, Г.Л. Дегтяренко // Тр. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2011 № 1(86) С. 243 -251.
3. **Востоков, В.М.** Хроматографический контроль биохимической активности жирорастворимых витаминов (А,D,E) в пищевой и кормовой продукции / В.М. Востоков, В.Р. Карташов // Изв. вузов. Сер. Химия и хим. технологии 2006. Т. 49. №4. С. 115–118.
4. **Востоков, В.М.** Научные принципы выбора физико-химических методов анализа и их реализация при разработке систем контроля биотехнологических производств / В.М. Востоков, С.А. Плохов // Н. Новгород, Деп. в ВИНТИ 29.12.2006. № 1640-В 2006. – 6 с.
5. **Востоков, В.М.** Особенности экоконтроля промышленной биопroduкции / В.М. Востоков, С.В. Плохов, В.Р. Карташов // Тр. НГТУ. 2012. № 3. С. 246–253.
6. **Востоков, В.М.** Особенности метрологической оценки результатов аналитического контроля биотехнологий / В.М. Востоков, А.П. Арбатский // Изв. вузов. Поволжск. рег. 2005. № 6 С. 231–240.
7. **Востоков, В.М.** Статистическое управление биопроизводством / В.М. Востоков, Е.Г. Ивашкин // Стандарты и качество. 2006. № 5. С. 42–44.
8. **Востоков, В.М.** Метрология, стандартизация, сертификация. Статистическое управление качеством и оценка экологического риска химических и биопроизводств: учеб. пособие / В.М. Востоков; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2012. – 153 с.
9. **Папазян, Т.** Микотоксины: Экологический риск и контроль // ООО «Оллтек»/данные Internet [www.olltek.ru](mailto:www.olltek.ru).
10. **Коростелева, Л.А.** Основы экологии микроорганизмов / Л.А. Коростелева, А.Г. Кошцаев. – СПб.: Лань, 2013. – 240 с.
11. **Gentry, P.** Effects of hemostasis and red cell production // Trichotecene mycotoxicosis: pathophysiologic effects, 1 (vol.2). Edited by Beasley V.R. New York - 1989. P. 39–60.

12. Биотехнология производства и применение функциональных кормовых добавок для птицы: дисс. ... доктора биол. наук: 16.00.04. / Кощаев А. Г. Краснодар, 2008.
13. **Хмара И. В.** Биотехнологические аспекты производства и применения препарата на основе культуры *Bacillus nigricans* 132 для профилактики афлатоксикозов птиц: дисс. ... канд. с.-х. наук: 03.00.23. Краснодар, 2002.
14. **Kozloski, R.P.** Новая методика тонкослойной хроматографии для определения // J. Assoc. Offic. Anal. Chem. 1981. V.64. N 5. P. 1263–1264.

*Дата поступления  
в редакцию 21.01.2014*

**V. M. Vostokov, V. M. Smirnova, E.G. Ivashkin**

**STATISTICAL ASSESSMENT OF AN ENVIRONMENTAL RISK  
AND TECHNOSPHERE SAFETY OF AGROBIOPRODUCTIONS ACCORDING  
TO THE RESULTS OF MONITORING OF A CONTAMINATION LEVEL  
OF FORMULA-FEED PRODUCTION**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The complex system of a statistical assessment of an environmental risk and technosphere safety of modern technologies of rational feeding of agricultural animals and poultry according to statistical cards of environmental control and indexes of reproducibility of process of  $C_p$  and  $C_{pk}$  was offered. On the basis of statistical researches system and criteria estimates of ecomonitoring of quality and toxic safety of fodder grain and the grainproduction polluted by mycotoxins results, real possibility of statistical management was shown by technological process of production balanced and safe compound feeds.

*Key words:* quality management system of bioproduction, toxic safety; mycotoxins, statistical assessment of an environmental risk.



УДК 546.05+ 543.273.07+ 543.061+ 544.723.3

В.М. Воротынцев, А.В. Воротынцев, И.В. Воротынцев,  
А.Н. Петухов, О.Н. Шарыгина

## ПОЛУЧЕНИЕ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА ПИРОЛИЗОМ ГОРЮЧИХ СМЕСЕЙ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Цель:** Разработка методики анализа компонентов генераторного газа методом хромато-масс-спектрометрии и ИК-спектроскопии.

**Методология:** В работе применены оригинальные методики анализа продуктов пиролиза хромато-масс-спектрометрическим методом с применением вакуумной системы напуска пробы, а также ИК-спектроскопии с проточной системой напуска пробы.

**Результаты и область их применения:** Применение генераторного газа в локальных энергетических системах находит все более широкое применение для удаленных территорий и локализованных объектов. Традиционно применяемая технология в существующих энергетических установках недостаточно эффективна из-за низкой оптимизации процесса пиролиза по температуре, скорости подачи кислорода и ряда других параметров. Поэтому они характеризуются низким содержанием горючих газов в смесях, что существенно влияет на эффективность энергетических систем. Таким образом исследования по анализу продуктов пиролиза горючих смесей с целью оптимизации процесса их синтеза и последующего выделения генераторного газа методом мембранного газоразделения и анализа его состава является достаточно актуальной задачей.

**Выводы:** В результате пиролиза было установлено, что при термической обработке органического сырья в виде сосновых опилок, основными продуктами при температуре 600 оС являются в основном метан, оксид углерода II, оксид углерода IV, а также широкий спектр углеводородов C10 - C12 с высокой молекулярной массой.

*Ключевые слова:* пиролиз, хромато-масс-спектрометрия, ИК-спектроскопия, вакуумная система напуска пробы, мембранное газоразделение.

Применение генераторного газа в локальных энергетических системах находит все более широкое применение для удаленных территорий и локализованных объектов. По данным Минтопэнерго России, свыше 60% территории страны лишено централизованного электроснабжения [1]. В таких удаленных районах проживает свыше 10% населения. Энергоснабжение населенных пунктов в этих районах осуществляется в основном за счет привозного жидкого и твердого топлива, стоимость которого имеет устойчивую тенденцию к росту. Производство альтернативных энергоносителей из отходов биомассы можно рассматривать как одно из перспективных направлений для инвестиций, однако традиционно применяемая технология в существующих энергетических установках недостаточно эффективна из-за низкой оптимизации процесса пиролиза по температуре, скорости подачи кислорода и ряда других параметров. Поэтому они характеризуются низким содержанием горючих газов в смесях, что существенно влияет на эффективность энергетических систем.

В настоящее время технология термохимической конверсии углеродсодержащего сырья [2] занимает лидирующие позиции в сфере переработки отходов и получения энергоносителей по цене оборудования, выходу товарных энергоносителей, экологичности процесса. Традиционно схема основной технологической линии представляет собой реактор высокотемпературной конверсии сырья с воздушным обдувом и обращенным отбором газа. Генераторный газ имеет следующий состав: монооксид углерода – 18-20 %, диоксид углерода – 13 %, водород – 10-13 %, метан – 2-4 %, углеводороды – 0.8 %, кислород – 1 %, азот – 46 %. Видно, что содержание горючих компонентов генераторного газа составляет не более 23-25 %.

В существующих энергетических установках КПД конверсии углерода редко достигает до 95%, и часто не позволяет перерабатывать материалы с малым содержанием горючих составляющих, таких как например бытовой мусор. Кроме того, в технических данных представленных сегодня на рынке энергетических установок ничего не говорится о содержании

окислов азота, серы, галогенах, фенолах и т.д., являющихся вредными, канцерогенными веществами. Хотя известно, что образование окислов азота, серы, хлора или фтора также идет в процессе пиролиза и может превышать ПДК. Кроме того, в генераторном газе может присутствовать и серосодержащие компоненты восстановленных формах ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{COS}$ ) или окисленных  $\text{SO}_2$ . Стоит также обратить внимание и на образование, а также выделение в процессе пиролиза таких опасных веществ, как диоксины и тяжелые металлы.

Для очистки генераторного газа традиционно применяют сорбционные методы, которые характеризуются периодичностью работы и относительно низкой эффективностью.

В последнее время для процессов разделения и глубокой очистки веществ все шире применяются мембранные методы. Одним из относительно новых, но быстро развивающихся методов является мембранное газоразделение. По сравнению с традиционно используемыми методами разделения газовых смесей (дистилляция, кристаллизация и сорбция), мембранное газоразделение, как правило, требует значительно меньших капитальных и эксплуатационных затрат. Интенсивное развитие мембранных методов [3] обусловлено поиском новых мембран [4], обладающих улучшенными физико-химическими и транспортными свойствами [5-8].

## 1. Эксперимент

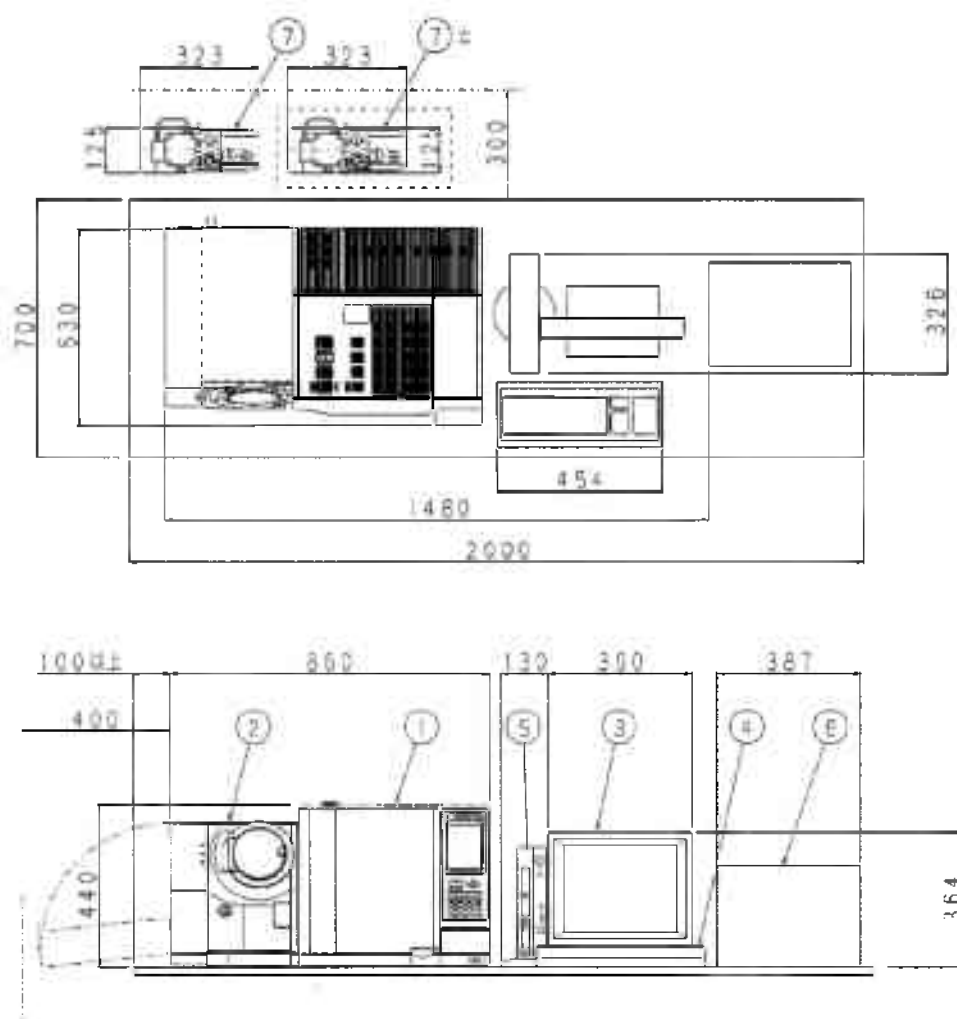
### *Методика пиролитического разложения горючих смесей и хромато-массспектрометрического анализа продуктов разложения*

Для исследования образцов сырья используемых в качестве генераторного газа был использован хромато-масс спектрометр GCMS-QP2010 Plus (Shimadzu, Япония) с двухстадийным пиролизером с функцией термодесорбции, изображенный на рис. 1.

Основным методом при реализации процесса был “Double-Shot Analysis”, который заключается в уникальной комбинации термодесорбции и пиролиза: *Термодесорбция (от 40 до 320°C)* С помощью плунжера тигель с образцом помещается в микропечь, нагретую до 40 °C, далее происходит нагрев по заданной программе. Происходит газо-хроматографическое разделение летучих компонентов, таких как связывающие агенты  $\text{C}_{10}$ - $\text{C}_{30}$ . Далее осуществляется масс-спектрометрическая идентификация. После термодесорбции тигель с образцом удаляется из микропечи, печь нагревается до 600 °C для проведения пиролиза. Тигель с образцом вталкивается в печь. Пирограмма оставшихся веществ демонстрирует широкий спектр продуктов разложения сырья генераторного газа в виде хроматограммы, на которой отображаются различные пики. Используя GC/MS библиотеку Национального института стандартов и технологий (NIST-08, США) и функцию поиска F-Search проводится идентификация веществ по полученным пикам.

В программе анализа продуктов разложения (EGA) проходит полный термический анализ с помощью GC-MS Shimadzu. В процессе выполнения температурной программы анализа продуктов разложения (EGA) термопласт демонстрирует профиль выделяемых газов. В программе можно выбрать интересующий участок профиля для детального анализа. Выделяемые продукты поступают в разделительную колонку и анализируются методом ГХ/МС. Встроенная функция поиска F-Search содержит библиотеку EGA/пирограмм и алгоритм поиска, что дает возможность идентификации неизвестных термопластов. Каждая вырезка характеризуется с использованием универсальных библиотек GC/MS и библиотек полимеров.

В работе использовался пиролизер марки Py-2010iD (Frontier Lab, Япония), двухстадийный пиролизер чашечного типа с двумя режимами - нагрев и охлаждение. Диапазон температур 40-800°C, шаг задания 1°C. Время охлаждения от 600 до 50°C составляет 30 мин. В процессе работы на первой стадии реализуется термодесорбция, а на второй пиролиз. Пиролизер имеет возможность программирования температуры в диапазоне скоростей 0 – 100°C/мин с шагом 1°C/мин.



а)



б)

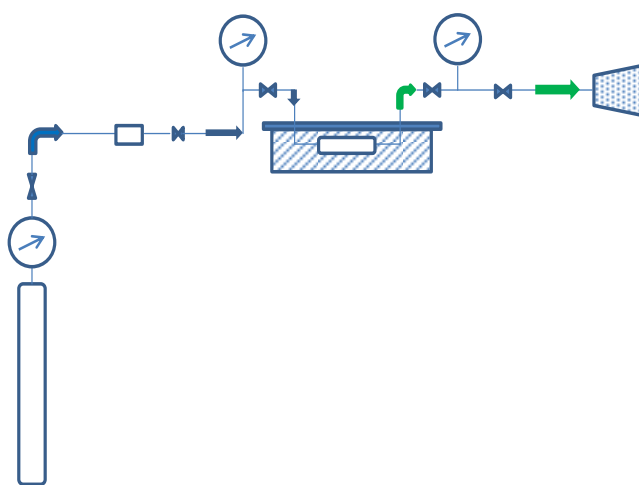
**Рис. 1. Средства измерений:**

а – схема хромото-масс-спектрометрического комплекса:  
 1 – термостат с капиллярной колонкой PLOT; 2 – масс-спектрометр с турбомолекулярным насосом; 3, 5 – ПК с монитором; 6 – блок бесперебойного питания; 7 – форвакуумный насос; б – двухстадийный пиролизер Py-2010iD (Frontier Lab, Япония) и управляющий модуль

В качестве разделительной колонки для продуктов в хроматографе использовались две капиллярные колонки CP7434 «Select Silanes» (Agilent, США) с неподвижной фазой три-флюоропропилметилполисилоксан для анализа агрессивных соединений имеющих кислую среду и HP-1MS (Agilent, США) для полярных и неполярных у/в с неподвижной фазой на основе 100% полидиметилсилоксан. Температурная программа хроматографических колонок заключалась в нагреве анализата при 50°C в течение 9 мин с последующим нагревом до 150°C со скоростью 25°C и удержанием в течение 3 мин с последующим нагревом в течение 25°C до 300°C и удержание в течение 30 мин. Температура инжектора 280°C, температура интерфейса 280°C, температура ионного источника 300°C, скорость газа-носителя (гелий марки 6.0) 1,5 мл/мин, соотношение потоков колонка/сброс (Purge) - 1/100.

#### *Методика анализа генераторного газа методом ИК-спектроскопии*

Для контроля состава по CO<sub>2</sub> использовали проточную систему с последующим анализом состава методом Фурье ИК-спектроскопии. Схема системы напуска приведена на рис. 2.



**Рис. 2. Схема проточной системы для анализа состава генераторного газа методом Фурье ИК-спектроскопии**

Генераторный газ из баллона-пробоотборника или из реактора поступает через фильтр и в проточную кювету, объемом 10 мл, причем боковые окна выполнены из оптически прозрачного КВг. Кювета помещена в кюветное отделение Фурье ИК-спектрометра IRrfinity-1 (Shimadzu, Япония). Сканирование газового потока в интервале 400–4000 см<sup>-1</sup>, с соотношением сигнал/шум 30000:1 проводилось тридцатью сканами для каждого спектра с разрешением 1 см<sup>-1</sup>.

#### **Обсуждение результатов**

В результате проведенных исследований были получены хроматограммы и масс-спектры продуктов пиролитического разложения различных видов сырья, таких как древесные опилки, торф и т.д. Были найдены оптимальные условия при которых получался широкий спектр органических веществ.

На первой стадии проходил нагрев анализируемой пробы, состоящей из навески древесных опилок сосновых пород дерева, до 150°C в течение 10 мин с последующим нагревом до 250°C в течение 5 мин и последующим удержанием температуры в течение 20 мин. Ввод пробы осуществляется с помощью микрокюветы из нержавеющей стали. В результате чего в течение 7 мин реализовывалась термодесорбция образца. Хроматограмма продуктов после термодесорбции приведена на рис. 3. Обобщенный масс-спектр метана, оксида углерода II и оксида углерода IV представлен на рис. 4.

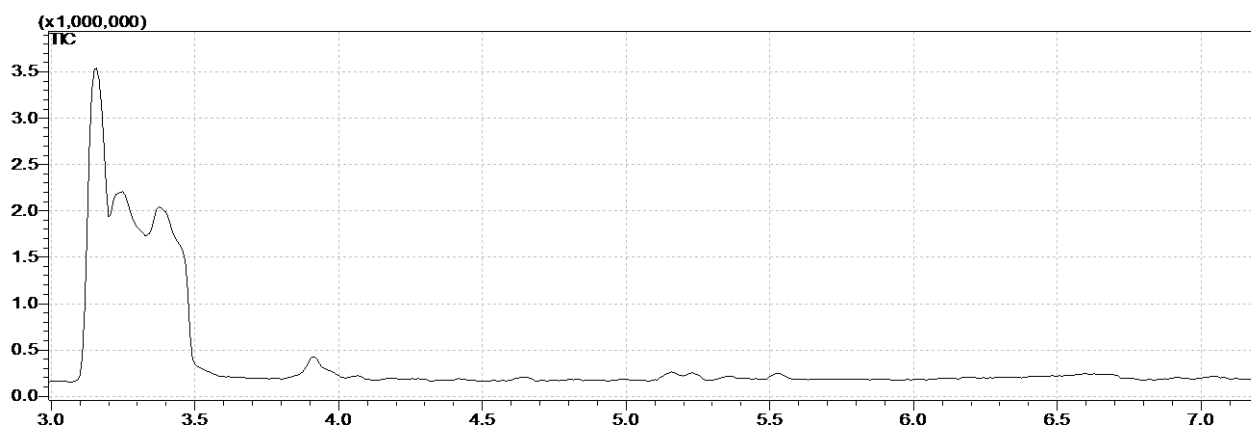


Рис. 3. Хроматограмма продуктов после термодесорбции

Основными продуктами являлись метан ( $m/z = 16$ ), оксид углерода II ( $m/z = 28$ ) и оксид углерода IV ( $m/z = 44$ ), показанные на рис. 4.

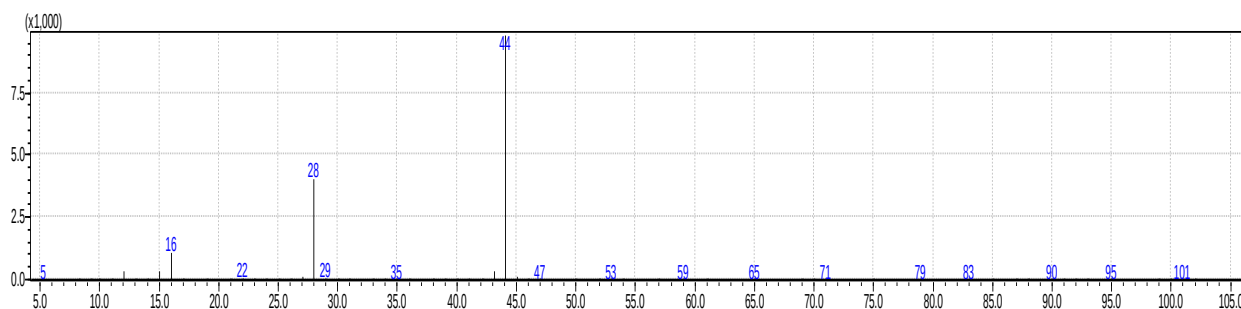


Рис. 4. Обобщенный масс-спектр метана, оксида углерода II и оксида углерода IV

Также в составе продуктов термодесорбции в меньших количествах содержались такие вещества как, этиленформиат, ацетальдегид, вода, изобутан, метилфуран, толуол и гептен.

Далее исследуемый образец подвергался пиролизу в течение 20 минут при температуре 600 °С. В результате пиролиза получается широкий спектр углеводородов с молекулярной массой более 120 (рис. 5). При увеличении хроматограммы с 31.5 до 34.5 мин видно, что на хроматограмма присутствуют группы пиков похожие между собой, что характерно для пиролиза. Проведенная идентификация по библиотеке NIST – 08 подтвердила этот факт.

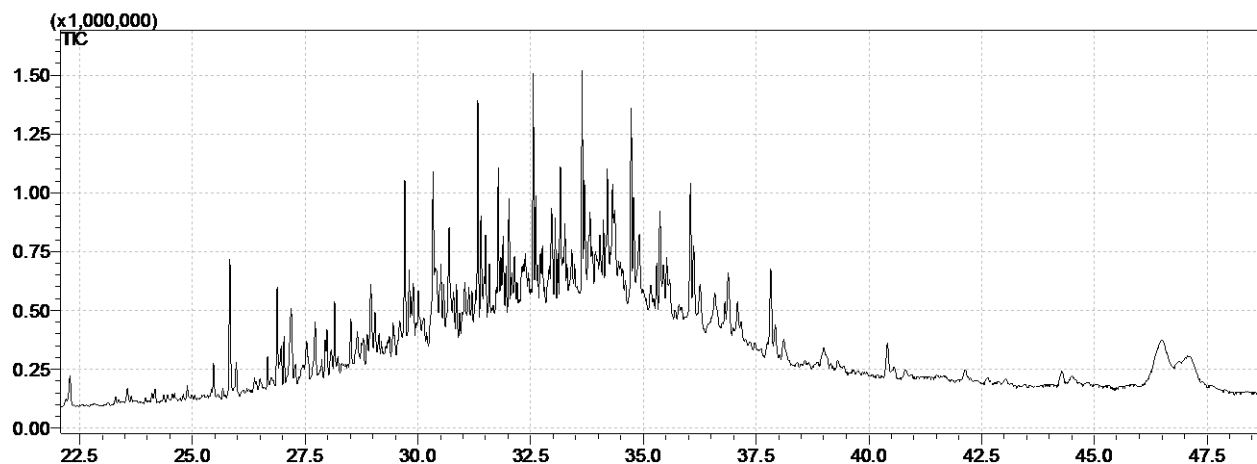


Рис. 5. Хроматограмма пиролиза образца сырья для генераторного газа

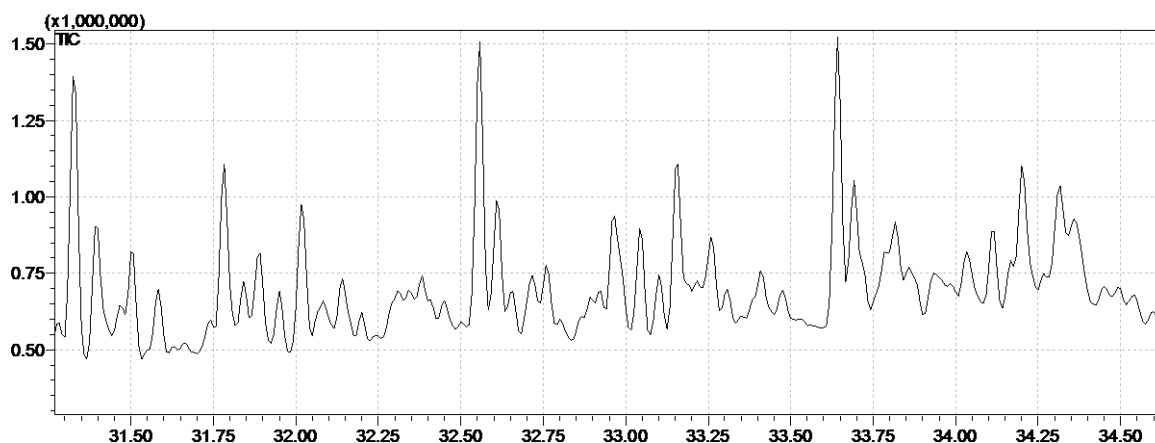


Рис. 6. Увеличенный участок хроматограммы изображенной на рис. 5

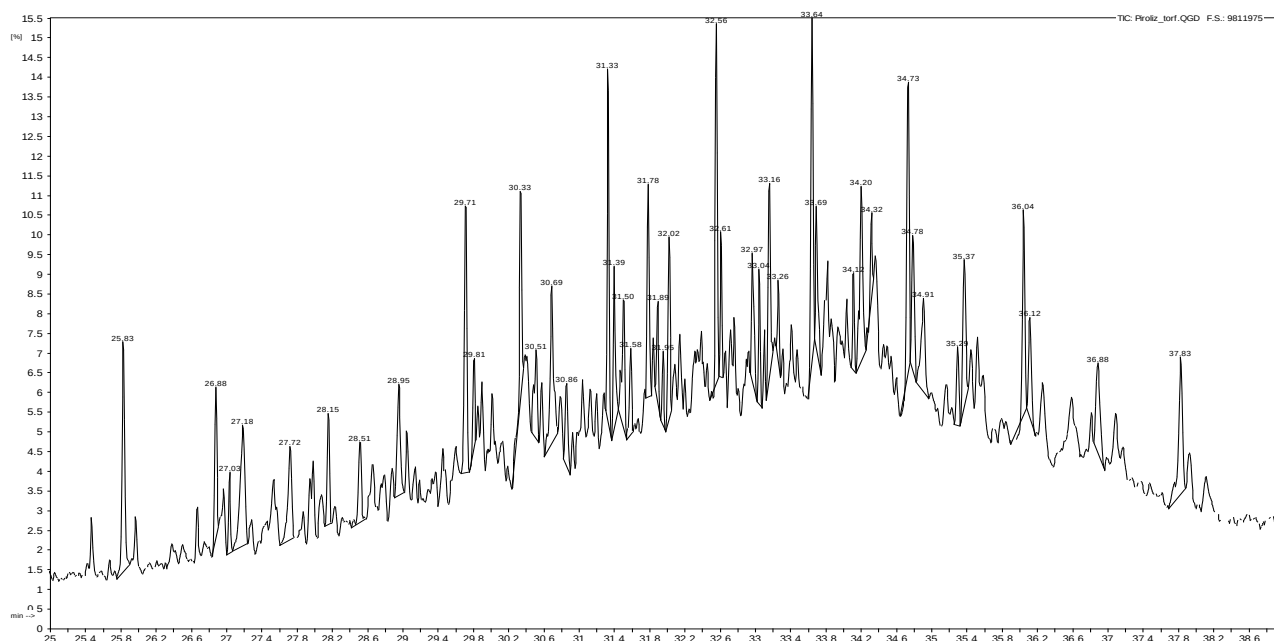


Рис. 7. Обработка хроматограммы с помощью программного комплекса F-Search

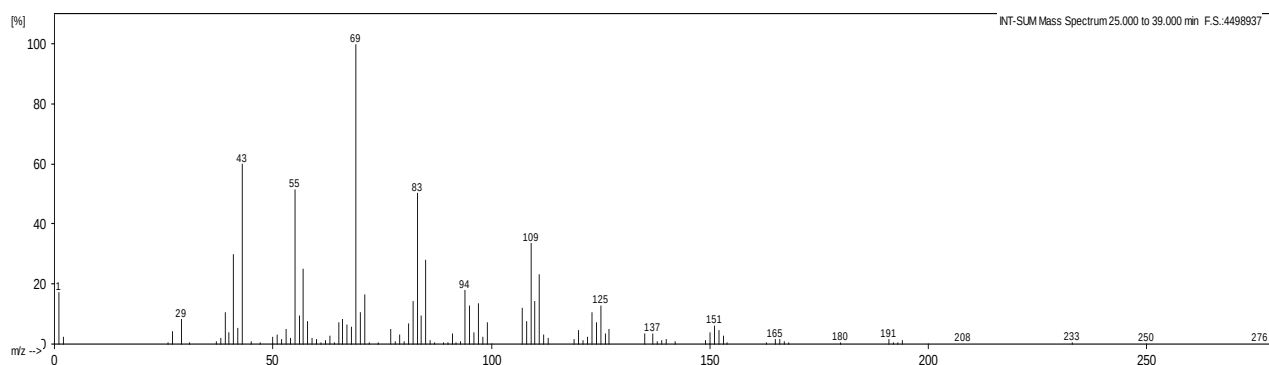


Рис. 8. Суммарный масс-спектр образца

Основными продуктами идентифицированными по библиотеке NIST-08 оказались: 2,4,6-триметил-11-додецен-1-ола, 1-нитрододецена, 7-метил-1-ундецена, изотридеcanoла-2, 1-фентил-2-пропилциклопентана, 7,11-диметил-10-додецен-1-ола, 4-изопропил-1,7-диметилциклододецена.

Поскольку область хроматограммы с 25 мин по 39 мин имеют характерные повторяющиеся фрагменты, то была проведена обработка хроматограммы (рис. 7) с помощью про-

граммы F-Search, в результате которой по соотношению интенсивностей масс различных соединений был получен обобщенный масс-спектр для последующей идентификации данного образца (рис. 8).

### Выводы

Таким образом, в результате пиролиза было установлено, что при термической обработке органического сырья в виде сосновых опилок, основными продуктами при температуре 600°C являются в основном метан, оксид углерода II, оксид углерода IV, а также широкий спектр углеводородов C<sub>10</sub> - C<sub>12</sub> с высокой молекулярной массой.

*Работа выполнена в рамках реализации проекта РФФИ (13-08-97113-р\_поволжье\_a)*

### Библиографический список

1. **Самылин, А.В.** Современные конструкции газогенераторных установок / А.В. Самылин, М.С. Яшин // ЛеспромИнформ. 2009. Т. 59. № 1. С. 78–88.
2. **Демидов, Д.В.** Никель-циркониевые катализаторы для получения синтез-газа методом парового углекислотной конверсии метана / Д.В. Демидов, Ю.А. Сахаровский, М.Б. Розенкевич // Успехи химии и химической технологии сб. науч. тр. 2012. Т. XXVI. №7 (136). С. 63–68.
3. **Drozdov, P.N.** High purification of gas in radial membrane / P.N. Drozdov, Y.P. Kirillov, E.Y. Kolotilov // Desalination. 2002. V. 146. №1-3. P. 249–254.
4. **Гумеров, А.М.** Полимеры на основе простых полиэфиов, ароматических изоцианатов и октаметилциротетрасилоксана / А.М. Гумеров [и др.] // Пластические массы. 2010. № 4. С. 21–24.
5. **Воротынцев, В.М.** Определение примесей органических и хлорорганических соединений, оксида и диоксида углерода в высокочистом хлороводороде методом газовой хроматографии / В.М. Воротынцев [и др.] // Журнал аналитической химии. 2012. Т. 67. № 3. С. 297–300.
6. **Воротынцев, В.М.** Глубокая очистка газов от легкопроникающих примесей в мембранном модуле с импульсным отбором / В.М. Воротынцев [и др.] // Мембраны и мембранные технологии. 2011. Т. 1. № 4. С. 261–265.
7. **Воротынцев, В.М.** Газовые гидраты: наноразмерные фазы в двухфазных методах разделения и очистки веществ / В.М. Воротынцев, В.М. Малышев // Успехи химии. 2011. Т. 80. №10. С. 1013–1033.
8. **Воротынцев, В.М.** Процесс разделения и концентрирования труднопроникающей примесей при мембранном газоразделении / П.Н. Дроздов, И.В. Воротынцев, О.А. Пименов // Мембраны и мембранные технологии. 2012. Т. 2. № 4. С. 249–254.

*Дата поступления  
в редакцию 23.01.2014*

**V.M. Vorotyntsev, A.V. Vorotyntsev, A.N. Petukhov, I.V. Vorotyntsev, O.N. Sharigina**

### THE PRODUCER GAS PRODUCTION BY PYROLYSIS OF THE COMBUSTIBLE MIXTURE

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Development of analyzing methodology for the components of the producer gas by gas chromatography-mass spectrometry and infrared spectroscopy.

**Design/methodology/approach:** In this paper, the original method of analysis applied pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry using a vacuum sample inlet system, as well as infrared spectroscopy sample inlet flow system.

**Findings:** Application of production gas in local energy systems is becoming more widely used for remote areas and localized objects. Traditionally used technology in existing power plants is not effective because of the low optimization of pyrolysis temperature, oxygen flow and other parameters. Therefore, they are characterized by a low content of combustible gases in the mixture, which significantly affects the efficiency of power systems. Thus research on the analysis of the pyrolysis products of combustible mixtures in order to optimize the process of synthesis and subsequent isolation of generating gas by membrane gas separation and analysis of its composition is sufficiently urgent task.

**Originality/value:** As a result, the pyrolysis has been found that during the thermal treatment of organic raw materials in the form of pine chips, the major products at a temperature of 600 °C is mainly methane, carbon monoxide II, carbon monoxide IV, as well as a wide range of hydrocarbons C<sub>10</sub> - C<sub>12</sub> with a high molecular weight.

**Key words:** Pyrolysis, gas chromatography-mass spectrometry, infrared spectroscopy, vacuum sample inlet system, membrane gas separation.

## ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 338

А.А. Иванов<sup>1</sup>, Н.Д. Иванова<sup>1</sup>, А.В. Вяткин<sup>2</sup>

### МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ УРОВНЯ И КАЧЕСТВА ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
НОАО «Гидромаш»<sup>2</sup>

**Цель:** изучение методов и факторов, применяемых при оценке уровня и качества жизни населения, а также апробация результатов на сопоставительной оценке уровня жизни в Нижегородской области.

**Методология:** расчет интегральных показателей уровня и качества жизни населения на основе статистической информации с нормализацией исходных данных и их приведением к сопоставимому виду.

**Результаты и область их применения:** Результатом исследования является систематизация методических вопросов оценки уровня и качества жизни населения. Обоснована необходимость учета данного фактора при формировании региональной политики как на федеральном, так и территориальном уровне. Изложены результаты практического применения одного из подходов к оценке на примере Нижегородской области.

**Выводы:** Оценка и мониторинг динамики изменения уровня и качества жизни населения являются важнейшими инструментами корректировки региональной политики, а также повышения инвестиционной привлекательности региона.

*Ключевые слова:* уровень и качество жизни населения, индекс развития человеческого потенциала, рейтинг.

Если набрать в поисковой строке браузера «качество жизни населения», то мы получим огромное количество откликов как отечественного, так и иностранного происхождения (более 8 млн); об уровне жизни говорят с экранов телевизоров, обсуждают в средствах массовой информации, пишут научные статьи и защищают диссертации. Более того, последний экономический кризис 2008–2010 гг., финансовые проблемы в Евросоюзе, экономическая ситуация в сверхдержавах и бюджетные кризисы только усилили внимание ведущих мировых и отечественных специалистов в области экономической теории и практики к проблемам уровня и качества жизни населения.

В нашей стране эта проблема не менее актуальна. От решения проблем уровня и качества жизни населения зависят темпы экономического развития и его направленность, а также социальная, политическая и экономическая стабильность в российском обществе. Причем во многом наше благосостояние напрямую зависит от проводимой государством социальной политики. Поэтому вопросы адекватной оценки качества жизни населения, выбора методики и показателей для расчетов, точности сбора исходной информации и ее первоначальной обработки играют огромную роль в формировании направлений проводимой государством политики в области поддержки и защиты населения, вызывают большой интерес у разнообразных слоев населения и, несомненно, говорят об актуальности и важности данной темы.

Несмотря на достаточно большое число публикаций, и исследований остается необходимость в систематизации имеющегося материала и его апробации на показателях жизни населения в стране и регионе.

Качество жизни как таковая социально-экономическая категория является предметом исследования на протяжении XX – начала XXI вв. Данным вопросам посвящены работы как



экономистов и социологов, так и психологов, врачей, политиков, экологов, математиков. Эти вопросы волнуют и рядовых граждан.

Если связать качество жизни и уровни личного потребления, благосостояния, доходы и потребности, то историю исследований можно рассматривать еще с XVIII вв. и работ представителей известных экономических школ (Д. Риккардо, К. Маркса, Г. Госсена и других). В целом можно вести речь о существовании на сегодняшний день пяти общих научных подходов к исследованию уровня и качества жизни: философский, экономический, экологический, психологический, медицинский.

Содержание указанных подходов, их разновидности и представители нашли свое отражение в табл. 1.

Таблица 1

**Основные теоретические подходы к исследованию уровня и качества жизни**

| Наименование подхода | Сущность и основные воззрения                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Представители                                                                   |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Философский          | Качество жизни – удовлетворенность личности уровнем реализации духовных, культурных потребностей, своей жизнедеятельностью в условиях социума. Связь качества жизни с духовностью, нравственностью, образованностью, справедливостью и счастьем                                                                      | А.Мишелл, С. Маккол, Н.М.Римашевская, И.В. Бестужев-Лада                        |
| Экономический        | Качество жизни - отражение материального уровня благосостояния субъекта. Это способность человека воспроизводить и увеличивать свой материальный достаток                                                                                                                                                            | С.А. Айвазян, Р. Арона, Д. Белла, Дж. Гэлбрейта, П. Дракера, Ж. Фурастье        |
|                      | Оптимистический подход:<br>1) переход к обществу нового качества жизни возможен только на основе научно-технического прогресса,<br>2) существует связь между уровнем экономического развития и качеством жизни                                                                                                       |                                                                                 |
|                      | Пессимистический подход:<br>Экономический рост, ухудшая состояние окружающей среды, оказывает отрицательное воздействие на жизнь человека → человечество должно замедлить или остановить экономический рост, сократить потребление материальных благ                                                                 |                                                                                 |
| Экологический        | Качество жизни - создание таких условий, при которых не нарушается состояние окружающей среды, а также сохраняются природные ресурсы. Экономический рост, не согласованный с законами природы, приведет к истощению ресурсной базы, гибели человечества. Выход – восстановить равновесие между природой и человеком. | У. Бек, Д.М. Гвишиани, В.И. Данилов-Данильян, Н.Н. Моисеев и др.                |
| Психологический      | Качество жизни - субъективная удовлетворенность человека жизнью, что выражается в его оценке уровня и степени реализации потребностей, с учетом объективных оценок состояния окружающей среды и качества жизни, которые отражаются на поведении человека                                                             | А. Кэмбелл, П. Конверс, К. Роджерс, Э. Фромм и др.                              |
| Медицинский          | Качество жизни - сохранение и воспроизводство жизни и здоровья человека за счет пропаганды здорового образа жизни; формирования нормативно-правовой базы развития современного здравоохранения; реформирования системы первичной медицинской помощи                                                                  | Всемирная организация здравоохранения, Киroy В.Н., Шевченко Ю.Л., Лысенков С.П. |

Поскольку представить себе реально развитое государство невозможно без ориентира на рост уровня и качества жизни населения со стороны федеральной экономической и соци-

альной политики, то методология оценки уровня и качества жизни является важным аналитическим инструментом государственной политики, что позволяет:

- 1) устанавливать ориентиры социально-экономической политики государства на перспективу;
- 2) осуществлять анализ текущего уровня социально-экономического развития страны;
- 3) оценивать уровень бедности;
- 4) проводить межрегиональные сопоставления уровня и качества жизни населения.

В современной практике оценки уровня и качества жизни приняты два подхода:

1. Оценка производится с помощью системы показателей – социальных индикаторов.

При этом национальные системы имеют свои особенности, базируясь на методологических рекомендациях ООН/ОЭСР.

2. Рассчитывается сводный индекс уровня и качества жизни на основе отдельных показателей. Подобный подход наиболее широко применяется ООН и другими международными организациями для проведения межстрановых сопоставлений уровня и качества жизни населения разных стран.

Рассмотрим несколько наиболее известных методик оценки качества жизни.

Так в агрегированном показателе – индексе развития человеческого потенциала (ИРЧП) [9], разработанном в ООН для сравнения стран по уровню и качеству жизни, применяются три частных индекса: 1) продолжительность предстоящей жизни при рождении; 2) грамотность населения; 3) реальный ВВП на душу населения. Среднее арифметическое число от трех частных индексов это и есть индекс развития человеческого капитала. В нем учитываются не только объемы потребления материальных благ, но и возможности для развития человека, обеспечиваемые здравоохранением и образованием.

Другой полярный пример – методика С. А. Айвазяна, которая включает пять компонентов, каждый из которых объединяет внутри себя несколько показателей: 1. Качество населения (12 показателей); 2. Благополучие (14); 3. Социальная безопасность (или качество социальной среды (11); 4. Качество окружающей среды (8 показателей); 5. Природно-климатические условия. При этом показатели природно-климатических условий оцениваются экспертами по нескольким параметрам и применяются в виде поправочных коэффициентов в общих индексах качества жизни [5].

В работе [6] для оценки качества жизни применяется методика, содержащая почти 300 показателей. С помощью пошаговой регрессии исключаются неинформативные показатели, в итоге сформировав набор частных критериев оценки уровня и качества жизни: ВВП на душу в текущих ценах с учетом паритета покупательной способности; производительность (ВВП на одного работающего); личное конечное потребление на душу в год; доля занятых в сфере обслуживания; доля неграмотных среди населения старше 15 лет; уровень персональной и имущественной безопасности члена общества (экспертные оценки); доля доходов 20% богатейшего населения; уровень инфляции (потребительских цен); реальный рост ВВП на душу населения. Эта методика позволяет проводить межстрановые сравнения по разработанному синтетическому показателю качества жизни.

Кроме того, в России существуют методики, и индикаторы определения качества и уровня жизни населения, закрепленные на законодательном уровне и используемые для расчетов и оценки конкурентной среды [7], что еще раз подтверждает тот факт, что без обеспечения достаточного уровня и качества жизни населения невозможно говорить о высоком уровне развития и конкурентоспособности государства.

Росстат [8] для оценки уровня жизни вводит свою систему индикаторов (базирующихся на статистических данных), которая предполагает определение баланса денежных доходов и расходов населения. В [8] рассчитывается общий объем и структура денежных доходов и расходов населения, исчисляются реальные и номинальные доходы и покупательная способность населения, а также рассчитывается распределение населения по уровню доходов и доля населения, живущего ниже уровня бедности, осуществляются другие экономиче-

ские расчеты как на федеральном, так и на региональном уровнях. Кроме того, методика предполагает построение вариационных рядов и, на их основе, - статистических рядов распределения населения по уровню среднедушевых денежных доходов, представляющих собой ранжированные и сгруппированные в определенных интервалах по величине дохода результаты наблюдений. Одной из немаловажных характеристик является величина прожиточного минимума в стране и регионе, а также распределение населения относительно этого показателя. «Прожиточный минимум представляет собой натуральный набор продуктов питания, учитывающий диетологические ограничения и обеспечивающий минимально необходимое количество калорий, а также расходы на непродовольственные товары и услуги, налоги и обязательные платежи, соответствующие по структуре затрат на эти цели бюджетам низкодоходных домашних хозяйств».

Для проведения эксперт - оценки, обеспечивающей межрегиональные сопоставления, что особенно актуально для таких стран, как Российская Федерация – с федеративным устройством, без привлечения интервьюеров, основываясь на общедоступной статистической информации можно воспользоваться рекомендациями, данными в статье [4]. Использование агрегированного показателя позволяет проводить сопоставления регионов по уровню и качеству жизни населения, корректировать федеральную и региональную социальную и дотационную политику, реализовывать программы поддержки и развития населения, а также будет полезно для инвесторов, предпринимателей и просто жителей тех территорий, которые участвуют в сопоставительной оценке.

Итак, в соответствии с [4] и ранее рассмотренными методиками выберем в качестве основного показателя – индекс качества жизни. В основе расчета индекса лежит агрегированный показатель различных социально-экономических индикаторов с условно принимаемым одинаковым значением весов при вхождении в модель. Наиболее важные социальные индикаторы и их показатели приведены в табл. 2.

С целью обеспечения однородности показателей и возможности их сведения в единый индекс будут использоваться относительные величины с нормированием из значений. Определение частных индексов по значению каждого показателя относительно группы регионов производится с учетом максимальных и минимальных значений региональных показателей. Далее полученное интегральное значение каждого из предложенных частных критериев агрегируется путем вычисления среднеарифметического значения этих индексов. Алгоритм оценки индекса качества жизни населения можно описать следующим образом:

1. Расчет частных показателей, характеризующих частные критерии оценки  $I_p$ :

- при положительной связи показателя с качеством жизни осуществляется нормирование по следующей схеме (где  $X_{ij}$  – значение показателя) (формула 1):

$$I_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{ij \min}}{X_{ij \max} - X_{ij \min}}; \quad (1)$$

- при отрицательной связи показателя с качеством жизни осуществляется нормирование по следующей схеме (где  $X_{ij}$  – значение показателя) (формула 2):

$$I_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{ij \min}}{X_{ij \max} - X_{ij \min}}. \quad (2)$$

2. Определение интегрального показателя критериев качества жизни населения по формуле (3):

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^j I_{ij}}{j}. \quad (3)$$

3. Расчет оценки индекса качества жизни населения по формуле 4 (весовой коэффициент социально-экономических индикаторов  $K_i$  принимаем равным единице):

$$I_p = \sum_{i=1}^n I_i \times k_i. \quad (4)$$

Данный индекс ценен только в сопоставлении, поэтому для оценки отдельного региона он неприменим, но в межрегиональных сопоставлениях и динамическом анализе является очень показательным.

Таблица 2

## Показатели для расчета индекса качества жизни населения

| Социально-экономические индикаторы | Показатели для оценки (по данным Росстата)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Здравоохранение                    | Численность врачей на 10000 человек населения; численность среднего медицинского персонала на 10000 человек населения; заболеваемость на 10000 человек населения (зарегистрировано больных с диагнозом, установленным впервые в жизни); смертность на 1000 человек населения; число больничных коек; мощность амбулаторно - поликлинических учреждений; смертность в возрасте до 1 года на 1000 родившихся живыми |
| Образование                        | Число детей приходящихся на 100 мест в дошкольных образовательных учреждениях; число государственных дневных общеобразовательных учреждений на 10000 человек населения; численность учащихся дневных общеобразовательных учреждений на 10000 человек населения; численность учащихся учебных учреждений начального профессионального образования на 10000 человек населения                                       |
| Культура                           | Библиотечный фонд общедоступных библиотек на 1000 человек населения; число посещений музеев на 1000 человек населения; число посещений муниципальных библиотек на душу населения.                                                                                                                                                                                                                                 |
| Материальное благосостояние        | Средний размер назначенных месячных пенсий; среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организации                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Коммуникации                       | Обеспеченность населения квартирными телефонными аппаратами сети общего пользования или имеющими на нее выход; обеспеченность населения собственными легковыми автомобилями на 1000 человек населения; наличие автобусов на 1000 человек населения                                                                                                                                                                |
| Экология                           | Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Потребление                        | Объем платных услуг на душу населения; объем бытовых услуг.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Демография                         | Численность постоянного населения в трудоспособном возрасте; коэффициент естественного прироста населения; коэффициент миграционного прироста населения; общие коэффициенты рождаемости                                                                                                                                                                                                                           |
| Экономика территории               | Объем производства промышленной продукции на душу населения; объем производства с/х продукции на душу населения; оборот розничной торговли на душу населения.                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Жилищные условия                   | Площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя; благоустройство жилого фонда водопроводом, газом, канализацией                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Безработица                        | Уровень зарегистрированной безработицы; напряженность на рынке труда                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

## Основные показатели уровня и качества жизни в Российской Федерации

На фоне нестабильной экономической ситуации в целом ряде развитых стран Российская Федерация демонстрирует довольно стабильный рост показателей уровня и качества жизни, а также присваиваемых международными агентствами рейтингов. Так по данным 2012 г. в рейтинге стран по одному из наиболее известных показателей межстранового сопоставления - Индексу раз-

вития человеческого потенциала (ИРЧП) [9] Россия заняла 55 место (соответствует «высокому» уровню жизни) в списке из 187 стран, улучшив показатель прошлого года на 11 пунктов. Россия входит в регион — Восточная Европа и Центральная Азия, в котором находится 31 страна. Из стран бывшего Советского Союза, Россию опережают Эстония — 0,835 (4-е место в группе/34-е место в мире), Литва — 0,810 (9/40), Латвия — 0,805 (10/43) и Белоруссия — 0,756 (16/65). Главным образом, это связано с относительным низким уровнем доступности образования и уровнем здоровья, однако Литву и Латвию кризис затронул сильнее, чем Россию. Немного уступают России — Казахстан — 0,745 (18/68), Грузия — 0,733 (21/75), Украина — 0,729 (22/76), Армения — 0,716 (24/86), Азербайджан — 0,700 (25/91). Страны со средним уровнем развития: Туркмения — 0,686 (27/102), Молдавия — 0,649 (28/111), Узбекистан — 0,641 (29/115), Киргизия — 0,615 (30/126) и Таджикистан — 0,607 (31/127) замыкают группу.

В текущем году был опубликован другой не менее известный рейтинг – «Индекс процветания», подготовленный институтом Legatum Institute [10]. Согласно данному сопоставлению наша страна занимает 61 позицию среди 142 сравниваемых стран, между Шри-Ланкой и Вьетнамом. По основным составляющим рейтинга позиции РФ распределились следующим образом: по экономическим показателям Россия находится на 50-м месте (↑), по свободе предпринимательства – 47-м месте (↑), по уровню коррупции и эффективности управления страной – 115-м место (↓), уровню безопасности – на 98-м месте (↓), по качеству образования – на 26-м месте (↑) и уровню свободы граждан – на 114-м месте (↓) среди стран мира.

В рейтинге Организации экономического сотрудничества и развития («Индекс лучшей жизни») – Better Life Index [11] – Россия занимает 32-е место из 34 стран ОЭСР, что обусловлено низкой средней продолжительностью жизни, большим расслоением в обществе по уровню доходов, низким качеством водных ресурсов, низким уровнем удовлетворенностью жизнью у населения.

Таким образом, несмотря на положительную динамику в оценках уровня жизни в нашей стране, которую ставят международные агентства и институты, отмечая прогресс по ряду направлений: общая экономическая эффективность, уровень образования, свобода предпринимательства и прочие, - в целом показатели личностной удовлетворенности своей жизнью, возможностями для развития, ресурсной базы, здоровья нации, неравенства в обществе – далеки от идеала и находятся на неудовлетворительном по сравнению, например, с европейскими показателями, уровне.

### **Уровень жизни населения Нижегородской области**

В связи с особенностями сбора и обработки Росстатом статистической информации в нашем распоряжении имеются данные для характеристики уровня и качества жизни в Нижегородской области только за первое полугодие 2013 года (табл. 3).

С 1 января 2013 года в Нижегородской области осуществлен переход от нормативного к нормативно-статистическому методу формирования потребительской корзины. Соотношение стоимости непродовольственных товаров и услуг со стоимостью продуктов питания установлено в размере 50%. Во втором квартале величина прожиточного минимума в среднем на душу населения составила 6623 рубля, в том числе: 7117 рублей для трудоспособного населения, 5468 рублей для пенсионеров и 6602 рубля для детей. Тем самым регион занимает четвертое место в Приволжском федеральном округе, уступая Самарской (7175 руб.), Пермской (7157 руб.) и Кировской (6905 руб.) областям.

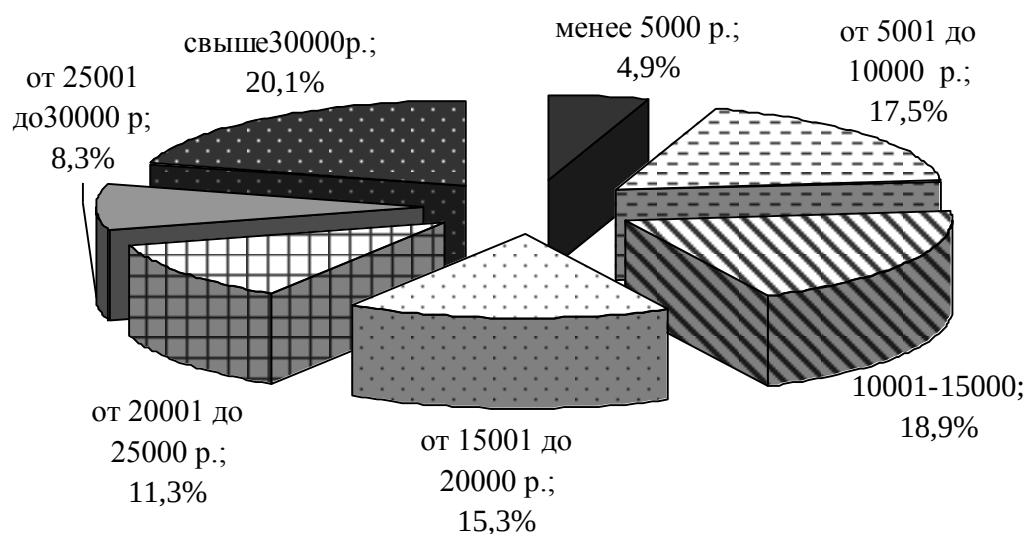
По предварительной оценке Нижегородстата во втором квартале 2013 года 297,4 тыс. человек или 9% от общей численности населения области имели среднедушевые доходы ниже величины прожиточного минимума, по итогам полугодия – 11% (в 2012 году – 10,8% и 12,1% соответственно) (рис. 1).

Сводный индекс потребительских цен в январе-июне 2013 г. составил 107,4% к соответствующему периоду 2012 года (103,7%). Наибольшие инфляционные процессы коснулись платных услуг (110,9 %) и продовольственных товаров (108,5%).

Таблица 3

## Показатели уровня жизни населения Нижегородской области

| Показатели                                                                            | I полугодие<br>2011 г. (руб.) | I полугодие<br>2012 г.(руб.) | I полугодие<br>2013 г.(руб.) |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. Среднедушевые доходы в месяц<br>- темп роста (%)                                   | 16783,1<br>110,6              | 19701,4<br>117,4             | 21688,3<br>110,1             |
| 2. Реальные денежные доходы, (в % к<br>предыдущему году)                              | 99,0                          | 112,9                        | 102,3                        |
| 3. Среднемесячная заработная плата<br>- темп роста (%)                                | 17347,9<br>112,0              | 19948,7<br>114,1             | 22535,0<br>113,5             |
| 4. Реальная заработная плата (в % к к<br>предыдущему году)                            | 100,8                         | 109,9                        | 105,7                        |
| 5. Средний размер начисленной пен-<br>сии (по состоянию на 01.06)<br>- темп роста (%) | 8104,2<br>108,7               | 8970,6<br>110,7              | 9841,3<br>109,7              |
| 6. Сводный индекс цен (в % к преды-<br>дущему году)                                   | 111,1                         | 103,7                        | 107,4                        |
| 7. Численность населения с доходами<br>ниже ПМ                                        | 16,6                          | 12,1                         | 11,0                         |
| - % - тыс. чел                                                                        | 549,9                         | 400,1                        | 363,2                        |



**Рис. 1. Распределение населения Нижегородской области по размеру среднедушевого денежного дохода во II квартале 2013 года**

За рассматриваемый период номинальная начисленная заработная плата составила 22 535 рублей, рост относительно аналогичного периода прошлого года – 13,5%. Номинальная заработная плата в организациях, не относящихся к субъектам малого предпринимательства, составила 25706 рублей, увеличившись на 15,6% к соответствующему периоду 2012 года.

Рост реальной заработной платы за этот период составил 5,7% (9,9% - в I полугодии 2012 года).

В январе-июне текущего года по сравнению с аналогичным периодом прошлого года заработная плата выросла практически во всех видах экономической деятельности и составила по финансовому сектору 38 тыс. руб. (наибольшее значение) и 13,5 тыс.руб. в таких отраслях, как сельское хозяйство, охота и рыболовство (наименьшее значение).

При этом наибольшими темпами росла заработная плата у работников занятых в образовании – 136,1%, в сельском хозяйстве – 121,3%, в здравоохранении – 120,7%. Наимень-

шими – у работников занятых в строительстве – 105,5%, финансовой деятельности – 106,9%, производстве и распределении электроэнергии, газа и воды – 108,5%.

Таблица 4

**Фрагмент таблицы расчета сводного индекса качества жизни в Нижегородской области и Республике Татарстан за 2009-2011 гг.**

| Показатели уровня и качества жизни населения |                                                                                | Нижегородская область             | Республика Татарстан | РФ (в среднем по стране) |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------------------|
|                                              |                                                                                | Интегральный показатель за 3 года |                      |                          |
| Здравоохранение                              | Численность врачей на 10 тыс. чел. населения                                   | 0,676                             | 0,000                | 1,000                    |
|                                              | Смертность на 1000 чел.                                                        | 0,000                             | 1,000                | 0,733                    |
| Образование                                  | Число детей на 100 мест в дошкольных образовательных учреждениях               | 0,333                             | 0,167                | 0,778                    |
| Культура                                     | Библиотечный фонда общедоступных библиотек на 1000 человек населения           | 1,000                             | 0,050                | 0,125                    |
|                                              | число посещений музеев на 1000 человек населения                               | 0,000                             | 0,583                | 1,000                    |
| Материальное благосостояние                  | Средний размер назначенных месячных пенсий                                     | 0,573                             | 0,000                | 1,000                    |
|                                              | среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организации | 0,000                             | 0,413                | 1,000                    |
| Коммуникации                                 | Обеспеченность населения квартирными телефонными аппаратами на 1000 чел.       | 0,330                             | 1,000                | 0,000                    |
|                                              | обеспеченность населения легковыми автомобилями на 1000 человек населения      | 0,443                             | 0,003                | 0,671                    |
| Экология                                     | Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ на 10 тыс.чел. населения              | 1,000                             | 0,716                | 0,000                    |
| Потребление                                  | Объем платных услуг на душу населения                                          | 0,000                             | 1,000                | 0,591                    |
| Демография                                   | Уровень экономически активного населения, %                                    | 0,905                             | 0,733                | 0,000                    |
|                                              | коэффициент естественного прироста населения                                   | 0,000                             | 1,000                | 0,746                    |
|                                              | общие коэффициенты рождаемости                                                 | 0,000                             | 1,000                | 0,822                    |
| Экономика территории                         | Объем производства промышленной продукции на 10 тыс.чел.населения              | 1,000                             | 0,545                | 0,000                    |
|                                              | Объем производства с/х продукции на 10 тыс.чел.                                | 0,000                             | 1,000                | 0,349                    |
| Жилищные условия                             | Площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя               | 1,000                             | 0,119                | 0,022                    |
| Безработица                                  | Уровень зарегистрированной безработицы                                         | 1,000                             | 0,199                | 0,000                    |
| <b>Сводный индекс качества жизни</b>         |                                                                                | <b>13,725</b>                     | <b>17,726</b>        | <b>15,993</b>            |
| <b>Рейтинг</b>                               |                                                                                | <b>3</b>                          | <b>1</b>             | <b>2</b>                 |

Проведенный анализ основывается на оперативных данных Нижстата, однако в целом особенностью российской системы статистических показателей является серьезное запаздывание в поступлении и обработкой сведения и форм. Поэтому на сегодняшний день в наиболее полном виде регионы РФ имеют описание только по окончании 2011 года [12]. Рассчитаем индекс качества жизни, предложенный нами ранее для Нижегородской области (формулы 1-4). Для сопоставления выберем среднероссийские показатели и результаты деятельности в одном из регионов Приволжского федерального округа. Поскольку с Республикой Татарстан у Нижегородской области идет давняя «негласная конкуренция» (начиная с момента выбора «третьей столицы» России), то именно эту республику и выберем для сопоставительного анализа. Временной горизонт – период 2009-2011 гг.

Произведенные нами расчеты индекса качества жизни показали, что соответствующие показатели в Нижегородской области в 2009-2011 гг. устойчиво отстают от среднероссийских значений и уровня развития региона – сравнения приблизительно в 1,5 раза. Напротив, Республика Татарстан в 2010-2011 г. находилась на более высоком уровне жизни населения, чем в среднем по РФ (таблица 4), лишь в сложный 2009 год положение с качеством жизни в Республике незначительно ухудшилось. В целом за рассматриваемый период по уровню интегральных показателей качества жизни и соответствующего индекса лидирующее положение у Республики Татарстан (Индекс качества жизни равен 17,73) с перевесом в 1,3 раза по сравнению с оценками Нижегородской области (индекс составил 13,73 по данным табл. 4). При этом Нижегородская область существенно (приблизительно в 1,2 раза) отстает и от среднероссийских оценок (индекс составил 15,993). Наиболее низкие рейтинги Нижегородской области приходится на такие показатели, характеризующие экономическое развитие территории, демографический сектор, уровень потребления, уровень культуры, среднее образование.

Таким образом, в Нижегородской области имеется насущная необходимость в повышении уровня и качества жизни населения за счет мер регулирования уровня и качества жизни как на федеральном, так и на региональном уровне. Во многом относительно более низкий уровень жизни в Нижегородской области обусловлен высокой стоимостью жизни в регионе, довольно высоким уровнем безработицы, высоким уровнем смертности – на эти направления необходимо обратить особое внимание руководству региона. Наилучших результатов Нижегородская область добилась в области здравоохранения, экологической ситуации, обеспеченности населения жильем и объемах производства промышленной продукции.

#### Библиографический список

1. Демидько, Е.В. О подходах к исследованию качества жизни населения в регионе / Е.В. Демидько, Е.Ю. Гоман // Компетентность. №9. 2011. С. 48–56 // <http://www.asms.ru/kompet/2011/december/demidko48.pdf>
2. Римашевская, Н.М. Региональные особенности уровня и качества жизни / Н.М. Римашевская, В.К. Бочкарева, Н.Г. Волкова. – М.: Студии, 2012. – 392 с.
3. Фахрутдинова, Е.В. Качество жизни населения: институциональный подход / Е.В. Фахрутдинова, Ш.М. Валитов. – Казань: Изд-во КГУ, 2010. – 365 с.
4. Климкина, Л.В. Оценка качества жизни населения региона/ Л.В. Климкина // Креативная экономика. 2008. №10 (22). С. 147–152.
5. Айвазян, С. А. Межстрановой анализ интегральных категорий качества жизни населения (эконометрический подход). Препринт N WP/2001/124. М., ЦЭМИ РАН, 2001.
6. Айвазян, С. А. Россия в межстрановом анализе синтетических категорий качества жизни населения / С.А. Айвазян // [http://www.hse.ru/journals/wrldross/vo101\\_4/Ivazian1.htm](http://www.hse.ru/journals/wrldross/vo101_4/Ivazian1.htm).
7. Приказ Минэкономразвития РФ от 04.04.2011 N 137 "Об утверждении методики определения основных показателей и критериев оценки состояния конкурентной среды" // Правовая база «Консультант плюс» // <http://base.consultant.ru>.
8. Постановление ГК РФ пор статистике от 16.07.1996 N 61 "Об утверждении методик расчета Баланса денежных доходов и расходов населения и основных социально - экономических индикаторов уровня жизни населения" // Правовая база «Консультант плюс» // <http://base.consultant.ru>.



9. Индекс развития человеческого потенциала // <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2013>.
10. Индекс процветания Legatum Prosperity Index // <http://www.prosperity.com/#!/country/RUS>.
11. Индекс лучшей жизни Better Life Index // <http://www.oecdbetterlifeindex.org>.
12. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2012 / под ред. М.А. Дианова. - Р32  
Стат. сб. / Росстат. – М., 2012. – 990 с.

*Дата поступления  
в редакцию 21.01.2014*

**A.A. Ivanov, N.D. Ivanova, A.V. Viatkin**

## **ACTIVITY-BASED COST SYSTEM AND BALANCED SCORECARD APPLICATION PECULIARITIES ON THE RUSSIAN ENTERPRISES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev,  
JSC Hydromash

**Purpose:** searching the ways and the factors used in the people life level and quality assessment, and also the results approval while the comparative life level assessment in Nizhegorodsky region.

**Methodology:** calculation of the integral indicators of the people life level and quality on the base of statistical information with input data normalization and their matching to the comparable type.

**The results and their application area:** The result of this study includes the systematization of the methodical questions of the people life level and quality assessment. More over, we base the necessity of this factor when regional policy making on both federal and territory levels. We state the results of the practical use of the one of the assessment approaches by the example on Nizhegorodsky region.

**Conclusions:** The Assessment and dynamics monitoring of the people life level and quality have become the essential instrument of regional policy adjustment and improvement of regional investment appeal.

*Key words:* The People Life Level and Quality, Human Development Index, Rating.

УДК 338

Д.А. Корнилов

## РЕЙТИНГИ ВУЗОВ И ЦИТИРУЕМОСТЬ РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ. РЕЙТИНГИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЖУРНАЛОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,

**Цель:** Выявить причину низких рейтингов российских вузов и рассмотреть перспективы развития российской системы научного цитирования. Показать возможности формирования международных индексов цитирования в области общественных наук (отрасль - экономические науки).

**Методология:** Обзор и анализ информационных источников.

**Результаты и область их применения:** В данной статье рассмотрен процесс формирования международных рейтингов вузов (Шанхайский рейтинг). Отражены показатели эффективности публикационной активности ученых, научно-образовательных организаций и журналов.

**Выводы:** Отражены «барьеры» участия российских ученых в международных системах цитирования. Представлен рейтинг экономических журналов по Science Index\* РИНЦ, по ИФ РИНЦ. Сделан вывод о сложности вливания российских ученых в международное научное сообщество, особенно для ученых общественных наук (в частности, отрасль экономические науки), т.к. из более 4000 российских журналов лишь десятая часть попадает в международные системы, и среди них лишь десятки публикуют статьи в области общественных наук, а по экономическим наукам единицы.

*Ключевые слова:* рейтинг; цитируемость; вуз; научно-образовательная организация, ученый, область наук.

### Шанхайский рейтинг лучших вузов мира: ARWU

За последнее десятилетие при оценке рейтинга вузов важную роль стал играть так называемый «Шанхайский рейтинг» лучших вузов мира ARWU, который публикуется начиная с 2003 года Институтом высшего образования шанхайского университета Цзяо Туни. Рейтинг включает в себя 500 лучших вузов мира. Отбор осуществляется на основе ряда параметров из более чем 2000 известнейших вузов, отдельно составляется рейтинг по странам: Australia, Austria, Belgium, Brazil, Canada, China, Denmark, Finland, France, Germany, Hong Kong, Israel, Italy, Japan, Netherlands, New Zealand, Norway, Russia, Saudi Arabia, South Korea, Spain, Sweden, Switzerland, Taiwan, UK, USA.

С 2007 года дополнительно стали составляться специализированные рейтинги. Например, рейтинг ARWU-Field (полевой) охватывает направления: Natural Sciences and Mathematics, Engineering / Technology and Computer Sciences, Life and Agriculture Sciences, Clinical Medicine and Pharmacy, Social Sciences (естественные науки и математика; инженерные и компьютерные науки; науки о жизни и сельском хозяйстве; клиническую медицину и фармацевтику; социальным науки). В 2009 году сформированы рейтинги ARWU-Subject по «классическим» областям: Mathematics, Physics, Chemistry, Computer Science, Economics/Business (математика, физика, химия, компьютерные науки, экономика/бизнес) [1, 2, 6].

Чтобы определить рейтинг вузов, специалисты Шанхайского Университета используют следующие критерии [2]:

1. Научные публикации, куда входят:
  - число статей, опубликованных в Nature или Science со значимостью критерия 20%;
  - число часто цитируемых публикаций (показатель цитируемости SCIE) со значимостью 20%.
2. Качество преподавательского состава, а именно:
  - число преподавателей, обладающих Нобелевскими или Филдсовскими премиями (значимость критерия 20%);
  - Число часто цитируемых в научных изданиях публикаций (значимость критерия 20%).

3. Качество обучения. Здесь подразумевается количество выпускников, получивших Нобелевскую или Филдсовскую премию. Значимость этого критерия меньше и составляет 10%.
4. Академическая производительность - соотношение пяти вышеизложенных показателей к численности персонала вуза (значимость критерия 10%).

По результатам анализа 100 лучших вузов, согласно Шанхайскому рейтингу за 2012 год, лидирующее положение в нем занимает США, за ними идет Великобритания, а Россия оказывается лишь на 15 позиции.

В табл. 1 представлен рейтинг стран по количеству университетов в первой сотне лучших вузов мира согласно Шанхайскому рейтингу ARWU и их доли [2].

**Таблица 1**

**Шанхайский Рейтинг стран по числу университетов в списке 100 лучших вузов мира**

| Страна         | Рейтинг стран по числу университетов в списке 100 лучших вузов мира |          |          |          |          | Доля в первой сотне лучших вузов мира |
|----------------|---------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------------------------------------|
|                | 2012 год                                                            | 2011 год | 2010 год | 2009 год | 2008 год |                                       |
| США            | 53                                                                  | 53       | 54       | 55       | 54       | 54%                                   |
| Великобритания | 9                                                                   | 10       | 11       | 11       | 11       | 11%                                   |
| Германия       | 4                                                                   | 6        | 5        | 5        | 6        | 5%                                    |
| Япония         | 4                                                                   | 5        | 5        | 5        | 4        | 5%                                    |
| Швейцария      | 4                                                                   | 4        | 3        | 3        | 3        | 3%                                    |
| Канада         | 4                                                                   | 4        | 4        | 4        | 4        | 4%                                    |
| Австралия      | 5                                                                   | 4        | 3        | 3        | 3        | 3%                                    |
| Франция        | 3                                                                   | 3        | 3        | 3        | 3        | 3%                                    |
| Швеция         | 3                                                                   | 3        | 3        | 3        | 4        | 3%                                    |
| Дания          | 2                                                                   | 2        | 2        | 2        | 2        | 2%                                    |
| Нидерланды     | 2                                                                   | 2        | 2        | 2        | 2        | 2%                                    |
| Израиль        | 3                                                                   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1%                                    |
| Финляндия      | 1                                                                   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1%                                    |
| Норвегия       | 1                                                                   | 1        | 1        | 1        | 1        | 1%                                    |
| <b>Россия</b>  | <b>1</b>                                                            | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>1%</b>                             |
| Бельгия        | 1                                                                   | 1        | 1        |          |          | 1%                                    |

В Шанхайском рейтинге лучший из российских вузов – это Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, но и он не поднимался выше 66-го места (2004 год), а Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ) регулярно присутствует лишь в четвертой сотне этого рейтинга.

Российские университеты попавшие в международные рейтинги лучших 500 вузов мира в 2011 году [2]:

- **Рейтинг ARWU:** Moscow State University (77); Saint Petersburg State University (301-400);
- **Рейтинг QS:** Lomonosov Moscow State University (112); Saint-Petersburg State University (251); Tomsk State University (451-500); State University Higher School of Economics (HSE) (451-500);
- **Рейтинг Webometrics:** Lomonosov Moscow State University (304);
- **Рейтинг The Times:** Lomonosov Moscow State University (276-300); Saint-Petersburg State University (351-400);
- **Рейтинг Performance Ranking of Scientific Papers for World Universities:** Lomonosov Moscow State University (241).

Позиции российских университетов в упомянутых рейтингах низкие. Отчасти это связано

с объективными причинами развития технологий, научных и образовательных направлений. Также следует отметить развитость международных систем цитирования (первый индекс цитирования был использован в 1873 году) по соответствующим областям науки (Web of Science, Scopus, Web of Knowledge, Astrophysics, PubMed, Mathematics, Chemical Abstracts, Springer, Agris, GeoRef, MathSciNet, BioOne, Compendex, CiteSeerX) в отличие от российской электронной библиотеки на базе платформы eLIBRARY.RU, которая была создана в лишь 1999 году и только с 2005 года eLIBRARY.RU начала работу с русскоязычными публикациями [8]. Поэтому отсутствие до 2005 года единой российской электронной библиотеки с открытым доступом к достижениям науки и техники снизило возможности своевременного ознакомления с новыми публикациями.

Большинство из действующих международных систем цитирования (библиографических баз) имеют свою специализацию по областям науки [9]:

- **Web of Science:** естественные, технические, медицинские, экономические, *общественные* и гуманитарные науки;
- **Scopus:** технические, медицинские и гуманитарные науки;
- **Web of Knowledge:** естественные, технические, биологические, *общественные*, гуманитарные науки и искусство;
- **Astrophysics Data System:** естественные науки (астрономия, астрофизика, физика)
- **PubMed:** медицинские и биологические науки;
- **The Electronic Library of Mathematics:** естественные науки (математика);
- **Chemical Abstracts:** естественные науки (химия);
- **Springer:** естественные науки;
- **AGRIS:** сельскохозяйственные науки;
- **GEOREF:** естественные науки (Науки о Земле);
- **MathSciNet:** естественные науки (математика);
- **BioOne:** естественные науки (биология, экология, география и науки об окружающей среде);
- **Ei COMPENDEX (The Computerized Engineering Index and Ei Engineering Meetings database):** технические науки;
- **CiteSeerX:** технические науки.

Таким образом, специализация по общественным наукам присутствует в двух из действующих международных систем цитирования: **Web of Science, Web of Knowledge.**

Приведем классификацию областей науки в соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников РФ (2009 год) [9]:

Область науки: отрасли науки, группы специальностей, специальности

### 1. Естественные науки

1.1 Математика (01.01.00) Механика (01.02.00) 1.2 Физика (01.04.00) Астрономия (01.03.00) 1.3 Химические науки (02.00.00) Фармацевтическая химия, фармакогнозия (14.04.02) 1.4 Биологические науки (03.00.00) Психофизиология (19.00.02) 1.5 Науки о Земле (25.00.00) (кроме экономической, социальной, политической и рекреационной географии (25.00.24)).

### 2. Технические науки

2. Технические науки (05.00.00) (кроме градостроительства, планировки сельских населенных пунктов (05.23.22) и теории и истории архитектуры, реставрации и реконструкции историко-архитектурного наследия (05.23.20)).

### 3. Медицинские науки

3. Медицинские науки (14.00.00) (кроме фармацевтической химии, фармакогнозии (14.04.02)).

### 4. Сельскохозяйственные

4. Сельскохозяйственные науки (06.00.00) Экономика сельского хозяйства (08.00.05).

### 5. Общественные науки

5.1 Экономические науки (08.00.00), кроме экономики сельского хозяйства (08.00.05)  
 5.2 Юридические науки (12.00.00) 5.3 Педагогические науки (13.00.00) 5.4 Психологические науки (19.00.00), кроме психофизиологии (19.00.02) 5.5 Социологические науки (22.00.00)  
 5.6 Политические науки (23.00.00) 5.7 Другие общественные науки: Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география (25.00.24) Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (05.23.22).

## 6. Гуманитарные науки

6.1 Исторические науки и археология (07.00.00) 6.2 Философские науки (09.00.00) 6.3 Филологические науки (10.00.00) 6.4 Искусствоведение (17.00.00) История и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (05.23.20) 6.5 Культурология (24.00.00).

Подведем итог. Необходимо выявить причины низких рейтингов российских вузов, определить, почему произошло «разрушение общепризнанной и эффективной советской системы образования». Аналитики при этом называют разные причины, например, от тривиальной «отсутствие достаточных объемов финансирования» до радикальных «низкая эффективность модернизации системы образования». Однако остается очевидным, что требуется сформировать государственную образовательную политику с учетом механизмов поддержки отечественных вузов на международном рынке образовательных услуг.

## Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Индекс научного цитирования – принятая в научном мире мера «значимости» трудов какого-либо ученого. Величина индекса определяется количеством ссылок на этот труд (или фамилию) в других источниках. Однако для действительно точного определения значимости научных трудов важно не только **количество** ссылок на них, но и **качество** этих ссылок. Так, на работу может ссылаться авторитетное академическое издание, популярная брошюра или развлекательный журнал. Значимость у таких ссылок разная [3].

«Научная электронная библиотека» (ELIBRARY.ru) представляет собой библиографическую базу данных научных публикаций российских ученых, в которой собираются и обрабатываются публикации из журналов, а также учитываются цитирования публикаций. В электронной библиотеке пользователь может производить поиск по разным критериям, система позволяет определить цитируемость как отдельных ученых, так и цитируемость персонала научно-образовательных организаций, авторов журналов. В итоге определяются рейтинги ученых, организаций, журналов. Для оценки эффективности деятельности ученых проводится анализ публикационной активности автора [10]:

- число публикаций автора в РИНЦ;
- число публикаций автора с учетом статей, найденных в списках литературы;
- число цитирований публикаций автора в РИНЦ;
- число цитирований публикаций автора с учетом статей, найденных в списках литературы;
- суммарное число цитирований автора;
- число публикаций, процитировавших работы автора;
- индекс Хирша;
- число самоцитирований;
- число цитирований соавторами;
- число соавторов;
- среднее число цитирований в расчете на одну публикацию;
- число публикаций в зарубежных журналах;
- число публикаций в российских журналах;
- число публикаций в российских журналах из перечня ВАК;
- число публикаций в российских переводных журналах;
- число публикаций автора, процитированных хотя бы один раз;

- число публикаций в журналах с ненулевым импакт-фактором;
- число цитирований из зарубежных журналов;
- число цитирований из российских журналов;
- число цитирований из российских журналов из перечня ВАК;
- число цитирований из российских переводных журналов;
- число цитирований из журналов с ненулевым импакт-фактором;
- средневзвешенный импакт-фактор журналов, в которых были опубликованы статьи;
- средневзвешенный импакт-фактор журналов, в которых были процитированы статьи;
- число публикаций за последние 5 лет (2007-2011);
- число цитирований статей автора, опубликованных за последние 5 лет (2007-2011);
- число цитирований всех публикаций автора из статей, опубликованных за последние 5 лет (2007-2011).

На основе популярности статей печатаемых в журналах определяются импакт-факторы журналов, формируется рейтинг журналов (см. табл. 2)

Возникновение РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) связано с потребностью создания отечественного индекса цитирования и с необходимостью формирования открытого информационного поля научных публикаций, так как не более 10% российских журналов представлено в зарубежных электронных базах, имеется «языковой барьер», большая часть отечественных публикаций оказывается недоступной (трудно доступной) для ознакомления.

Наличие «языкового барьера» характерно для большинства неанглоязычных стран. Например, менее 1 процента китайских научных журналов представлено в SCI, поэтому в Китае еще в 1989 году был создан собственный индекс цитирования Chinese Science CitationIndex, охватывающий сейчас более 1000 ведущих китайских журналов [4].

Следует отметить также наличие финансового барьера, т.е. доступность зарубежных систем цитирования. Немногие российские научные организации в состоянии выделить не менее 30-40 тыс. долл. в год за возможность использования ресурсов зарубежных систем цитирования и для поддержки публикаций своих авторов [4].

Как отмечается в научной электронной библиотеке (ELIBRARY.ru), «основной целью запуска проекта была необходимость создания объективной системы оценки и анализа публикационной активности и цитируемости отечественных исследователей, организаций и изданий. Решение о создании национального индекса научного цитирования было обусловлено тем фактом, что лишь одна десятая от всех публикаций российских ученых попадает в международные базы данных научного цитирования, такие как Web of Science или Scopus. Кроме того, многие направления российской науки (например, общественно-гуманитарные) там практически не представлены» [4].

Далее представлен рейтинг российских экономических журналов в РИНЦ (табл. 2, 3), а также приведены импакт-факторы (ИФ) отечественных (табл. 2, 3) и зарубежных научных журналов (табл. 4) и составлен перечень журналов России по тематике «Социально-гуманитарные науки», включенных в БД SCOPUS и БД WEB of SCIENCE по состоянию на 01.02.2013 г. (табл. 5)

Таблица 2

## Рейтинг экономических журналов по импакт-фактору\* РИНЦ

| № | Журнал                                                                                      | Выпусков | Статей | Цит.  | ИФ РИНЦ |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-------|---------|
| 1 | 2                                                                                           | 3        | 4      | 5     | 6       |
| 1 | <b>Вопросы экономики</b><br>Некоммерческое партнерство "Редакция журнала Вопросы экономики" | 135      | 1484   | 24641 | 2,995   |
| 2 | <b>Экономист</b><br>Издательство "Экономист"                                                | 39       | 432    | 8347  | 2,200   |

Окончание табл. 2

| 1  | 2                                                                                                                                                                                                                                  | 3   | 4    | 5    | 6     |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|------|-------|
| 3  | <b>Российский журнал менеджмента</b><br><input type="checkbox"/> Санкт-Петербургский государственный университет. Высшая школа менеджмента                                                                                         | 40  | 449  | 1850 | 1,504 |
| 4  | <b>Форсайт</b><br><input type="checkbox"/> Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"                                                                                                                     | 26  | 260  | 558  | 1,060 |
| 5  | <b>Общество и экономика</b><br><input type="checkbox"/> Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Российской академии наук "Издательство "Наука"                        | 86  | 1007 | 3421 | 1,004 |
| 6  | <b>Проблемы прогнозирования</b><br><input type="checkbox"/> Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН                                                                                                                     | 79  | 982  | 3971 | 0,913 |
| 7  | <b>Вопросы образования</b><br><input type="checkbox"/> Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"                                                                                                         | 31  | 501  | 1575 | 0,870 |
| 8  | <b>Мировая экономика и международные отношения</b><br><input type="checkbox"/> Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Российской академии наук "Издательство "Наука" | 125 | 1877 | 8690 | 0,863 |
| 9  | <b>Российский экономический журнал</b><br><input type="checkbox"/> Академия менеджмента и бизнес-администрирования                                                                                                                 | 74  | 685  | 7873 | 0,858 |
| 10 | <b>Журнал новой экономической ассоциации</b><br><input type="checkbox"/> Автономная некоммерческая организация "Журнал Новой экономической ассоциации"                                                                             | 15  | 307  | 285  | 0,77  |

Примечание: \*импáкт-фáктор (ИФ) — численный показатель важности научного журнала. С 2005 года - он ежегодно рассчитывается ООО «РУНЭБ» ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)). В соответствии с ИФ оценивают уровень журналов, качество статей, опубликованных в них [5]

Расчёт импáкт-фáктора основан на трёхлетнем периоде. Например, импáкт-фáктор журнала вычисляется как  $A/B$ , где:  $A$  – число цитирований в течение года в журналах, отслеживаемых Институтом научной информации, статей, опубликованных в данном журнале за предыдущие три года;  $B$  — число статей, опубликованных в данном журнале за предыдущие три года. Для новых журналов импáкт-фáктор иногда рассчитывается только для двух-летних периодов [7].

Таблица 3

## Рейтинг экономических журналов по Science Index\* РИНЦ

| № | Журнал                                                                                                               | Выпусков | Статей | Цит.  | ИФ РИНЦ |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-------|---------|
| 1 | 2                                                                                                                    | 3        | 4      | 5     | 6       |
| 1 | <b>Вопросы экономики</b><br><input type="checkbox"/> Некоммерческое партнерство "Редакция журнала Вопросы экономики" | 135      | 1484   | 24641 | 2,995   |
| 2 | <b>Финансы и кредит</b><br><input type="checkbox"/> ООО "Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ"                          | 492      | 5910   | 5911  | 0,339   |
| 3 | <b>Региональная экономика: теория и практика</b><br><input type="checkbox"/> ООО "Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ" | 304      | 3559   | 3075  | 0,285   |

Окончание табл. 3

| 1  | 2                                                                                         | 3   | 4    | 5    | 6     |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|------|-------|
| 4  | <b>Финансы</b><br>ООО "Книжная редакция журнала "Финансы"                                 | 88  | 1872 | 5493 | 0,618 |
| 5  | <b>Экономический анализ: теория и практика</b><br>ООО "Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ" | 327 | 2996 | 3107 | 0,397 |
| 6  | <b>Проблемы современной экономики</b><br>Научно-производственная компания "РОСТ"          | 37  | 4329 | 2594 | 0,206 |
| 7  | <b>Инновации</b><br>ОАО "Трансфер"                                                        | 87  | 1983 | 4303 | 0,346 |
| 8  | <b>Экономист</b><br>Издательство "Экономист"                                              | 39  | 432  | 8347 | 2,200 |
| 9  | <b>Деньги и кредит</b><br>Центральный банк Российской Федерации                           | 126 | 1997 | 3265 | 0,517 |
| 10 | <b>Проблемы теории и практики управления</b><br>Международная медиа группа                | 97  | 1420 | 5902 | 0,535 |

**\*\*МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА В РЕЙТИНГЕ SCIENCE INDEX** рассчитана только для российских научных журналов. За основу расчета индекса берется количество цитирований в течение года статей из журнала, которые были опубликованы в этом журнале за предыдущие 5 лет. Показатель не нормируется на количество статей, опубликованных в журнале в течение расчетного периода, как это делается, например, при расчете импакт-фактора. Поэтому преимущество получают более крупные журналы, также для расчета этого показателя не требуется знать точное количество статей, опубликованных в журнале в течение анализируемого периода [8].

Таблица 4

**Импакт-факторы зарубежных научных журналов по тематике MANAGEMENT, BUSINESS, FINANCE, ECONOMICS**

| № п/п | Название журнала                      | Страна        | Издательство                  | Рубрика                         | ИФ 2007 |
|-------|---------------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------------------------|---------|
| 1.    | ACADEMY OF MANAGEMENT EXECUTIVE       | UNITED STATES | ACAD MANAGEMENT               | MANAGEMENT                      | 1.610   |
| 2.    | ACADEMY OF MANAGEMENT JOURNAL         | UNITED STATES | ACAD MANAGEMENT               | MANAGEMENT, BUSINESS            | 5.017   |
| 3.    | ACADEMY OF MANAGEMENT REVIEW          | UNITED STATES | ACAD MANAGEMENT               | MANAGEMENT, BUSINESS            | 4.372   |
| 4.    | ACCOUNTING REVIEW                     | UNITED STATES | AMER ACCOUNTING ASSOC         | BUSINESS, FINANCE               | 1.733   |
| 5.    | ADMINISTRATIVE SCIENCE QUARTERLY      | UNITED STATES | ADMINISTRATIVE, SCI QUARTERLY | MANAGEMENT, BUSINESS            | 2.912   |
| 6.    | AMERICAN ECONOMIC REVIEW              | UNITED STATES | AMER ECONOMIC ASSOC           | ECONOMICS                       | 2.239   |
| 7.    | BROOKINGS PAPERS ON ECONOMIC ACTIVITY | UNITED STATES | BROOKINGS INST                | ECONOMICS                       | 1.412   |
| 8.    | CALIFORNIA MANAGEMENT REVIEW          | UNITED STATES | UNIV CALIF                    | MANAGEMENT, BUSINESS            | 0.945   |
| 9.    | ECONOMICS AND PHILOSOPHY              | UNITED STATES | CAMBRIDGE UNIV PRESS          | ETHICS, ECONOMICS               | 0.444   |
| 10.   | HUMAN RESOURCE MANAGEMENT             | UNITED STATES | JOHN WILEY & SONS INC         | MANAGEMENT, PSYCHOLOGY, APPLIED | 0.642   |



Таблица 5

Перечень журналов России, включенных в БД SCOPUS и БД WEB of SCIENCE по состоянию на 01.02.2013 г.

| №<br>№<br>п/п | Название жур-<br>нала на языке<br>оригинала (со-<br>временное<br>название) | Название вер-<br>сии журнала в<br>БД SCOPUS             | ISSN<br>печат-<br>ной вер-<br>сии в<br>SCOPUS | E-ISSN<br>версии<br>в<br>SCOPUS | Хроноло-<br>гический<br>охват в<br>SCOPUS | Издательство (по<br>данным SCOPUS)              | Страна<br>издания | Тематика<br>(верхний<br>уровень) | Тематика<br>(Уровень 1)        | Тематика<br>(Уровень 2)                       | Версии<br>журнала<br>в Scopus<br>по язы-<br>ку |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1             | 2                                                                          | 3                                                       | 4                                             | 5                               | 6                                         | 7                                               | 8                 | 9                                | 10                             | 11                                            | 12                                             |
| 1.            | Russian Studies in Literature*                                             | Russian Studies in Literature                           | 10611975                                      | 19447167                        | 2004-ongoing, 2002                        | M.E. Sharpe Inc.                                | США               | Социально-гуманитарные Науки     | Искусство и гуманитарные науки |                                               | перевод                                        |
| 2.            | Russian Studies in Philosophy**                                            | Russian Studies in Philosophy                           | 10611967                                      | 15580431                        | 2004-ongoing                              | M.E. Sharpe Inc.                                | США               | Социально-гуманитарные Науки     | Искусство и гуманитарные науки |                                               | перевод                                        |
| 3.            | Schole                                                                     | Schole                                                  | 1995-4328                                     | 1995-4336                       | 2011-ongoing                              | Novosibirsk State University                    |                   | Социально-гуманитарные Науки     | Искусство и гуманитарные науки |                                               | англ ориг                                      |
| 4.            | Социально-гуманитарные Науки                                               | Социально-гуманитарные Науки                            | 1345486                                       |                                 | 2009-ongoing                              | East View Information Services                  | США               | Социально-гуманитарные Науки     | Социально-гуманитарные Науки   |                                               | англ ориг                                      |
| 5.            | Археология, этнография и антропология Евразии                              | Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia      | 15630110                                      |                                 | 2006-ongoing                              | Institute of archaeology and ethnography SB RAS | Россия            | Социально-гуманитарные Науки     | Социально-гуманитарные Науки   | Cultural Studies                              | перевод                                        |
| 6.            | Вестник Российской академии наук                                           | Herald of the Russian Academy of Sciences               | 10193316                                      |                                 | 2005-ongoing                              | Maik Nauka/Interperiodica Publishing            | Россия            | Социально-гуманитарные Науки     | Социально-гуманитарные Науки   | Political Science and International Relations | перевод                                        |
| 7.            | Вопросы питания                                                            | Voprosy Pitaniia                                        | 00428833                                      |                                 | 1965-ongoing                              | Nutritec                                        | Россия            | Социально-гуманитарные Науки     | Психология                     | Developmental and Educational Психология      | рус ориг                                       |
| 8.            | Вопросы психологии                                                         | Voprosy Psikhologii                                     | 00428841                                      |                                 | 1996-ongoing, 1973-1975                   | Akademiia pedagogicheskikh nauk RSFSR           | Россия            | Социально-гуманитарные Науки     | Психология                     | Agricultural and Biological Sciences (all)    | рус ориг                                       |
| 9.            | География и природные ресурсы                                              | Geography and Natural Resources                         | 18753728                                      |                                 | 2007-ongoing                              | Elsevier BV                                     | Нидерланды        | Социально-гуманитарные Науки     | Социально-гуманитарные Науки   | Geography, Planning and Development           | перевод                                        |
| 10.           | Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова                        | Zhurnal Vysshei Nervnoi Deyatelnosti Imeni I.P. Pavlova | 00444677                                      |                                 | 1965-ongoing                              | Izdatel'stva Nauka                              | Россия            | Социально-гуманитарные Науки     | Психология                     | NeuroПсихология and Physiological Психология  | рус ориг                                       |

Окончание табл. 5

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                       |                                                                        |           |           |                                    |                                                 |        |                              |                                   |                                         |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------------------------------|-------------------------------------------------|--------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 11.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Известия РАН. Сер. географическая                                                     | Izvestiya Akademii Nauk, Seriya Geograficheskaya                       | 03732444  |           | 1995-ongoing, 1978-1992            | Izdatel'stvo Nauka                              | Россия | Социально-гуманитарные Науки | Социально-гуманитарные Науки      | Geography, Planning and Development     | рус ориг |
| 12.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Криминологический журнал Байкальского государственного университета экономики и права | Criminology Journal of Baikal National University of Economics and Law | 1996-7756 | 2071-8721 | 2009 - ongoing                     | Baikal National University of Economics and Law | Россия | Социально-гуманитарные Науки | Законодательство                  | Социология и политология                | рус ориг |
| 13.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Проблемы передачи информации                                                          | Problems of Information Transmission                                   | 00329460  | 16083253  | 2005-ongoing, 1972-1991            | Maik Nauka/Interperiodica Publishing            | Россия | Социально-гуманитарные Науки | Психология                        | Engineering (all)                       | перевод  |
| 14.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Проблемы прогнозирования                                                              | Studies on Russian Economic Development                                | 10757007  |           | 2006-ongoing, 1995, 1993           | Maik Nauka/Interperiodica Publishing            | Россия | Социально-гуманитарные Науки | Экономика, Эконометрика и финансы |                                         | перевод  |
| 15.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Психологический журнал                                                                | Psikhologicheskii Zhurnal                                              | 02059592  |           | 1996-ongoing, 1984                 | Izdatel'stva Nauka                              | Россия | Социально-гуманитарные Науки | Психология                        |                                         | рус ориг |
| 16.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Российская история                                                                    | Rossiiskaia Istoria                                                    | 8695687   |           | 2009-ongoing                       | Izdatel'stva Nauka                              | Россия | Социально-гуманитарные Науки | Социология и политология          | Искусство и гуманитарные науки: History | рус ориг |
| 17.                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Социологические исследования                                                          | Sotsiologicheskie issledovaniia                                        | 01321625  |           | 2002-ongoing, 1984-1986, 1981-1982 | Izdatel'stva Nauka                              | Россия | Социально-гуманитарные Науки | Психология                        |                                         | рус ориг |
| *Russian Studies in Literature - перевод отдельных статей из журналов и газет: Дружба народов, Известия (Новости); Континент; Иностранная литература; Литературная газета; Литературное обозрение; Нева; Новое литературное обозрение; Новый мир; Октябрь; Русская литература; Волга; Вопросы литературы; Знамя |                                                                                       |                                                                        |           |           |                                    |                                                 |        |                              |                                   |                                         |          |
| ** Russian Studies in Philosophy - перевод выборочно статей из журналов: Вопросы философии; Философские науки; Вестник Московского университета. Серия Философия; Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия экономики, философии и права                                                                 |                                                                                       |                                                                        |           |           |                                    |                                                 |        |                              |                                   |                                         |          |
| *** - принят условно (через год вернут на экспертизу)                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                       |                                                                        |           |           |                                    |                                                 |        |                              |                                   |                                         |          |
| **** - принят, но еще не загружен                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                       |                                                                        |           |           |                                    |                                                 |        |                              |                                   |                                         |          |

К сожалению, перечень журналов России, включенных в БД SCOPUS и БД WEB of SCIENCE по состоянию на 01.02.2013 г. незначителен. По социально-гуманитарным наукам насчитывается 12-17, а в чистом виде по экономической тематике всего лишь один журнал (табл. 5).

#### Библиографический список

1. <http://www.hse.ru/news/recent/63943243.html>
2. <http://www.education-medelle.com/articles/schankhajskij-rejting-luchschikh-vuzov-mira-arwu.html>
3. <http://help.yandex.ru/catalogue/?id=873431>
4. [http://elibrary.ru/projects/citation/cit\\_index.asp](http://elibrary.ru/projects/citation/cit_index.asp)
5. <http://elibrary.ru/titles.asp>
6. <http://www.arwu.org/> Academic Ranking of World Universities, 2010, Ranking Methodology
7. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%C8%EC%EF%E0%EA%F2-%F4%E0%EA%F2%EE%F0>
8. [http://elibrary.ru/help\\_title\\_rating.asp](http://elibrary.ru/help_title_rating.asp)
9. <http://cabinet.mon.gov.ru>
10. [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id)

*Дата поступления  
в редакцию 20.12.2013*

**D.A. Kornilov**

#### **RATINGS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS AND QUOTING OF THE RUSSIAN SCIENTISTS. RATINGS OF RUSSIAN AND FOREIGN ECONOMIC MAGAZINES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** To identify the cause of Russian universities low ratings and to examine the prospects for the development of the scientific citation Russian system. To show the possibility of the international citation indexes formation in the social sciences (industry - economics).

**Methodology:** Review and analysis of information sources.

**The results and their application area:** In this article formation process of the higher education institutions international ratings (The Shanghai rating) is considered. Efficiency indicators of scientists printing activity, scientific and educational organizations and magazines are reflected.

**Conclusions:** "Barriers" of the Russian scientists participation in the international systems of citing are reflected. The rating of economic magazines on Science Index \* RINTs, on IF RINTs is presented. The conclusion on complexity of the Russian scientists injection in the international scientific community is made, especially for scientific social sciences (in particular, economic sciences branch) as only the tenth part from more than 4000 Russian magazines gets to the international systems, and among them only tens publish articles in the field of social sciences, and on economic sciences of unit.

**Key words:** rating; citing; higher education institution; scientific and educational organization, scientist, area of sciences.

УДК 336

М.А. Летягин

## МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОГО ОТБОРА УПРАВЛЕНЧЕСКОГО РАБОТНИКА В КАДРОВЫЙ РЕЗЕРВ

Нижегородский институт управления – филиал РАНХиГС

Предлагается методика отбора управленческих работников в кадровый резерв. Использование подходов, методов, технологий науки квалиметрии, для сферы управления человеческими ресурсами. Результатом исследования является квалиметрическая модель эффективной оценки персонала, разработанная в сфере управления человеческими ресурсами. На основе разработанной модели предложены направления совершенствования методики эффективной оценки кадров.

*Ключевые слова:* кадровый резерв, квалиметрия, квалиметрическая модель, квалиметрическая оценка, персональная характеристика, рейтинг.

Квалиметрия (от лат. *qualitas* – качество, свойство) [2] – научная дисциплина, методы которой позволяют количественно оценивать качество объектов различной природы. Чаще всего, ее используют в промышленности – металлургии, строительстве, машиностроении и т. д. Но есть, например, и педагогическая квалиметрия. Основная идея подхода состоит в том, что качество само по себе измерить сложно, это интегральный показатель. Однако его можно разложить на более простые элементы и построить своеобразное дерево свойств. Например, в нашем понимании качество шоколадки зависит от ее стоимости, количества орехов, эстетичности упаковки и т. п. Эти свойства уже можно измерить количественно – в рублях, граммах или, скажем, в баллах. И после серии вычислений на выходе получается определенное число. Таким образом, с помощью квалиметрии можно оценивать качество чего угодно – интерьера, персонала или хирургической операции.

Согласно методике, начинаем строить дерево свойств, то есть дробить это сложное качество на более простые (рис. 1). Рейтинг – интегральный показатель качества управленческой деятельности.

По мнению автора, рейтинг должен базироваться на четырех блоках, напрямую влияющих на результативность труда – общие данные, личностные данные, интегрированные данные, профессионализм.

В свою очередь общие данные определяем как набор четырех более простых свойств («персональных характеристик») – это возраст, опыт работы, образование, уровень интеллекта.

Следующий блок – это интегрированные данные.

Снова разделим на четыре качества – коммуникация, межличностное понимание, степень конфликтности, навыки работы в команде.

Последний четвертый блок (профессионализм), включает: качество работы, энергию, дисциплину и лояльность к предприятию.

В итоге на нижнем ярусе дерева получилось 16 простых свойств.

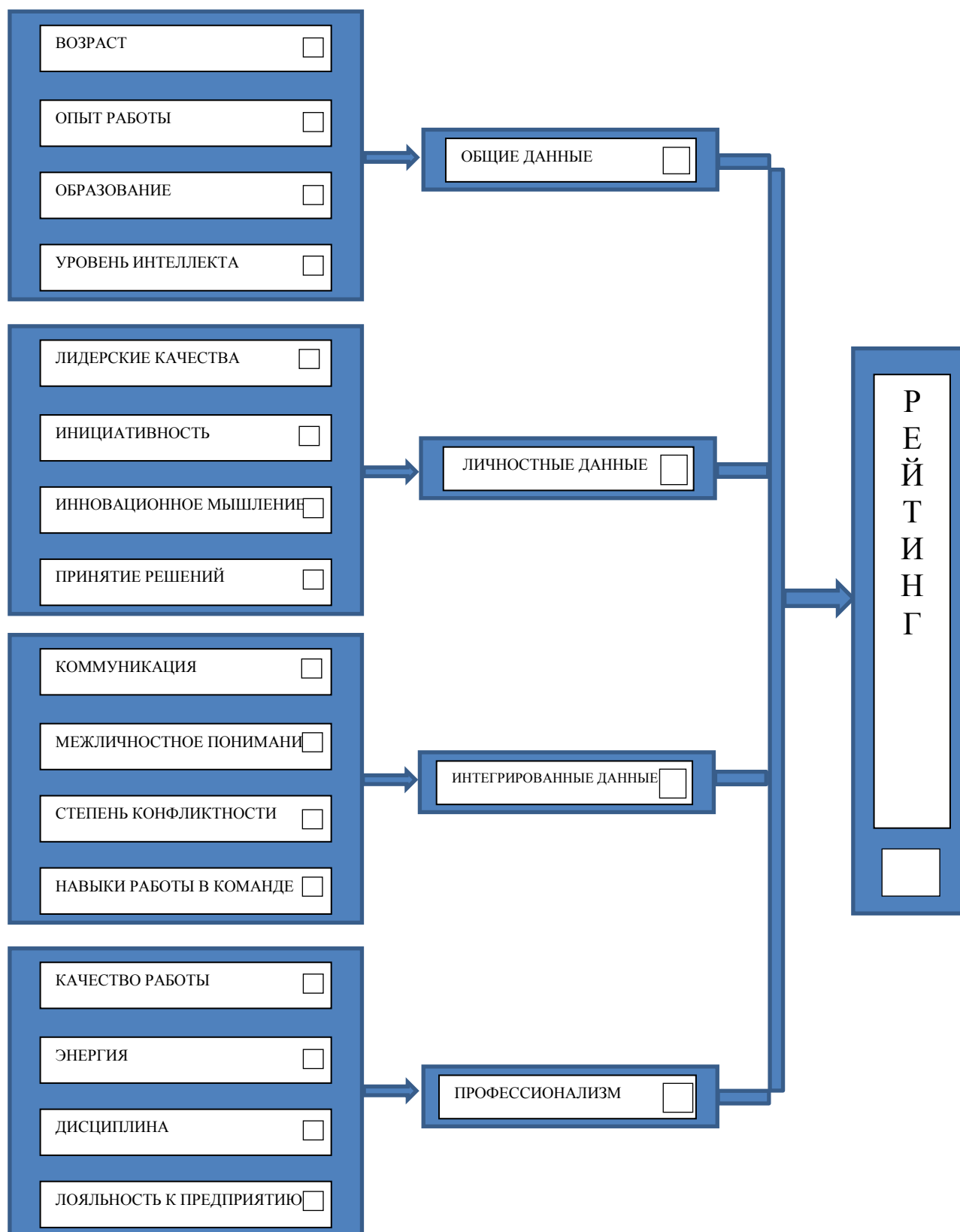
Именно эти свойства нужно учитывать при расчете итоговой оценки.

После того как дерево приобрело окончательный вид, предстоит определить балльную оценку (от 0 до 100) каждого из этих 16 свойств (между собой все они равноценны, поэтому весовые коэффициенты присваивать не нужно).

Кандидатам в кадровый резерв раздаются анкеты, тесты и бизнес-кейсы. После процедуры заполнения, производим вычислительные операции, суммируем и нормируем полученные данные.

В итоге после серии математических процедур, заказчик получает сводный лист с рейтингом (итоговой числовой оценкой) каждого сотрудника. Сотрудники, получившие наибольший итоговый балл, объективно сильнее остальных. Необходимо заметить, что лю-

ные данные имеют свойство устаревать. Поэтому через некоторое время исследование нужно повторить, модернизировав вопросы тестов и бизнес-кейсы.



**Рис. 1. Модель эффективного отбора управленческого работника в кадровый резерв**

Квалиметрический подход более удобен и точен по сравнению с другими методами, потому что позволяет быстро выстроить управленческий персонал по рейтингу.

В основе предлагаемой методики количественной оценки лежат несколько общих принципов:

1. Равнозначность отдельных частей (блоков) информации.
2. Объективность индивидуальных оценок различных кандидатов по заданным критериям.
3. Формирование «запрограммированных» ответов.
4. Численное выражение «запрограммированных» ответов и рейтинговая оценка уровня квалификации.

Прежде всего, необходимо отметить, что объектом количественного анализа является совокупность знаний, умений и компетенций, которые, определяя в значительной (на 75%) степени уровень квалификации представляют собой общую оценку того или иного работника или кандидата на соответствующую должность. Ранее уже говорилось о том, что деятельность работников системы управления заключается в выполнении регулярно повторяющихся процедур, требующих не только достаточно обширных и глубоких специальных знаний, но и выполняющих свою работу качественно, энергично, не нарушая дисциплину и вырабатывая чувство преданности к предприятию (еще 25%). Именно совокупность всех этих элементов и определяет, по существу, уровень квалификации работника.

Соответственно, оценка уровня квалификации включает не только определение границ информационного поля знаний, которыми располагает работник, но и исследование его умений и навыков в выдержке, дисциплине и т.д.

Можно полагать, что данный подход к выбору объекта количественного анализа и оценки не только допустим, но и вполне достоверно отражает определенные реалии современного управленческого звена.

Первым шагом к реализации данного подхода является структуризация информационного набора знаний, поскольку именно структура определяет возможные алгоритмы поиска необходимой информации.

Для объективной оценки состава информации, которой располагает тестируемый резервист, необходимо предварительно провести ее классификацию.

Под термином «классификация» подразумевается разделение информации на отдельные группы по определенной системе и оценка значимости каждой группы по условиям применения этой информации в деятельности данного предприятия [3]. В решении этой задачи нет особых проблем. Достаточно выделить те или иные узловые вопросы и на этой основе провести разделение всего массива на систематизированные блоки.

Следующая задача связана с определением внутренней структуры каждого из блоков информации. Для рассматриваемых условий под структурой каждого блока подразумевается состав персональных характеристик, отражающих отдельные стороны данного комплекса информации.

Понятие «персональная характеристика» включает некий комплекс ответов, охватывающих в своей совокупности часть информации, которую должен показать кандидат на соответствующую должность (тестируемый соискатель).

Из теории психологии, а также из практического опыта известно, что информация, которой пользуется человек, неоднородна как по условиям ее получения, так и по эффективности использования. Чем дальше путь к получению информации и чем реже ею пользуется сам человек, тем сложнее, при необходимости, ее практическое использование [1]. В нашем случае информация от кандидата получается в порядке простоты доступа к ней, поэтому на первом месте размещена стандартная информация (наиболее доступная) – возраст, опыт работы, образование, уровень интеллекта. На следующем месте должна быть размещена та информация, сложность доступа к которой будет выше, чем у предыдущего блока. Это условие должно найти соответствующее отражение в оценке уровня квалификации работника.

Задача интервьюера – обеспечить такое структурирование всего информационного

массива, при котором был бы учтен критерий значимости данной информации для деятельности работника на данном рабочем месте. Таким образом, целесообразность количественной оценки каждой персональной характеристики, в свою очередь отрицает необходимость выбора критерия значимости для каждого блока информации. При этом определенная численная оценка необходима для сопоставления значимости персональных характеристик внутри каждого блока.

Основным принципом, положенным в основу этой оценки, может служить условие, которое формулируется следующим образом: среднее арифметическое четырех персональных характеристик формирует одно из сгруппированных данных (блок данных), последовательно получаем все сгруппированные данные (4), затем находим их среднее арифметическое – это и есть рейтинг. Из этого следует, в частности, что максимальной оценке (100 баллам) будет соответствовать такой уровень данного соискателя, который максимально отвечает данной компетентности. Напротив, минимальная оценка (0 баллов) означает, что персональная характеристика данного кандидата полностью не соответствует данной компетентности.

Одним из наиболее значимых условий разработки квалиметрической методики оценки работников, следует считать соблюдение принципа объективности. С этой целью при оценке можно использовать не одного эксперта, а группу экспертов. При этом, разумеется, возникает проблема согласования мнения экспертов. Учитывая наличие значительного опыта согласования экспертных оценок методами статистического анализа, эту часть общей проблемы можно считать вполне разрешимой.

Основу предлагаемой методики оценки уровня квалификации составляет применение системы вопросов и заранее запрограммированных (интерпретированных количественно) ответов.

Из сказанного выше следует, что ответы представляют собой форму оценки степени владения испытуемым определенным сектором информационного поля. Поэтому вопросы блоков 2, 3, 4 должны быть сформулированы таким образом, чтобы ответы на них могли быть получены только при уверенном, то есть достаточно квалифицированном владении информацией.

Следовательно, ключевым вопросом эффективности методики квалиметрической оценки уровня квалификации следует считать содержательную сущность предлагаемых вопросов, а также степень охвата ими определенного информационного сектора в пределах данной персональной характеристики.

По этой причине в составлении указанных вопросов должны участвовать коллективы специалистов, в состав которых рекомендуется включать кадровиков, а также профессионалов-управленцев с достаточным стажем работы в сходных условиях.

Для оценки квалификации введено определенное *множество ответов на каждый вопрос*. Каждый ответ должен быть составлен таким образом, чтобы в нем заключалась определенная часть достоверной информации. В ответе, который экспертами будет признан идеальным, достоверная информация должна быть приведена в полном объеме. Соответственно, персональная характеристика, полученная на основании этих ответов, будет иметь максимальную оценку в 100 баллов. Другие ответы будут в той или иной мере отклоняться от полностью достоверного. Если тестируемый претендент выберет какой-либо из других ответов (то есть недостаточно достоверный), он получит более низкую оценку, пропорциональную степени достоверности ответа, который он выбрал.

Каждая персональная характеристика должна получить количественную оценку. Эту оценку может дать эксперт, либо группа экспертов. Необходимо отметить, что каждый эксперт оценивает не самого работника, а только возможный ответ. Тем самым обеспечивается беспристрастность и объективность оценки. В результате по каждому ответу будет дана количественная оценка, которая и будет соответствовать оценке квалификации по данной персональной характеристике.

Рейтинговая оценка каждого кандидата будет определена как среднеарифметическая оценка из 4 блоков от 16 полученных оценок по персональным характеристикам с максимально возможной суммой по тем же персональным характеристикам.

Практическая значимость модели:

1. Рассчитать можно рейтинг любого сотрудника, от рабочего самой низшей ступени до топ-менеджера.

2. Методика годится для коммерческих и некоммерческих предприятий, а также предприятий сферы услуг.

3. Рейтинг не является «пожизненным», через определенный промежуток времени, проходя испытания, каждый может улучшить/ухудшить свой итоговый балл.

4. Методику можно легко автоматизировать.

5. Изменяя блоки и персональные характеристики можно адаптировать модель под любые нужды.

Организация формализованного описания всей методики.

Разумеется, как вопросы, так и ответы могут быть размещены на бумажных носителях. Однако в этом случае использование предлагаемой технологии будет достаточно трудоемким, поскольку объем размещенной информации должен быть настолько значительным, что пользование традиционным опросником даже при наличии соответствующих ключей и указаний кажется затруднительным.

Решение задачи может быть существенно упрощено при использовании персональных компьютеров. Наличие значительных массивов информации, необходимость верного подбора вопросов, возможность использования наглядных и сравнительно простых процедур опроса и достаточно надежных способов получения оценок и их хранения все это позволяет сделать вывод о высокой эффективности использования информационных технологий для реализации квалиметрической методики оценки персонала.

Использование информационных технологий обеспечивает возможность систематического использования предлагаемой модели для оценки управленческого персонала любого уровня.

#### Библиографический список

1. **Анастаси, А.** Психологическое тестирование / А. Анастаси, С. Урбина. – СПб.: Питер, 2002. – 688 с.
2. **Варжапетян, А.Г.** Квалиметрия: учеб. пособие / А.Г. Варжапетян. – СПб.: ГУАП, 2005.
3. **Морозова, Г.А.** Управление служебной карьерой // Развитие человеческого потенциала как фактор модернизации экономики и социальных отношений: Труды Всероссийской научно-практической конференции. – Н. Новгород, Изд-во ИП Масленников, 26 мая 2009. С. 64–66.

*Дата поступления  
в редакцию 21.01.2014*

**М.А. Letyagin**

#### **MODEL OF EFFECTIVE SELECTION OF MANAGERIAL EMPLOYEES IN THE PERSONNEL RESERVE**

The Nizhny Novgorod Institute of management a branch of the RANHiGS

A methodology for the selection of managers in the personnel reserve of the reserve. The use of approaches, methods, technologies, science help of qualimetry control, for the field of human resource management. Results and their application: qualimetry result of research is effective personnel evaluation model developed in the field of human resources management. Conclusions on the basis of the developed model directions for enhancing effective evaluation.

*Key words:* talent pool, qualimetry, model qualimetry, qualimetry score, a personal characteristic, rating.



УДК 004.414.38

Е.С. Митяков

## СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ РОССИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Предложена структура информационной системы мониторинга экономической безопасности регионов России. Обоснована актуальность разработки такой системы. Приведены основные и специальные требования, а также требования к стандартизации. Рассмотрены основные компоненты системы мониторинга экономической безопасности регионов России. Представлена схема взаимодействия компонент информационной системы мониторинга.

*Ключевые слова:* экономическая безопасность, информационная система мониторинга, социально-экономическое прогнозирование, анализ экономической динамики, экономика региона.

### Введение

Под *экономической безопасностью* понимают такое состояние экономики и институтов власти государства, при котором обеспечивается гарантированная защита национальных интересов страны, её социально направленное развитие в целом, достаточный оборонный потенциал, даже при наиболее неблагоприятных условиях развития внутренних и внешних процессов [1]. Проблемы обеспечения экономической безопасности являются актуальными для многих стран мира, в том числе и для Российской Федерации. В Федеральном законе от 28.12.2010 № 390-ФЗ «О безопасности» устанавливаются основные принципы и содержание деятельности по обеспечению экономической, общественной, экологической и иных видов безопасности [2]. При анализе наиболее вероятных угроз национальным интересам России весьма существенными считаются угрозы в реальном секторе экономики, поскольку они непосредственно влияют на масштабы российской экономики, ее ресурсное обеспечение, возможности отечественного производителя обеспечить потребителей конкурентоспособными товарами и услугами.

В настоящее время в достаточной степени продвинулись научные исследования экономической безопасности на макроэкономическом уровне. Между тем, практически все экономические и социальные процессы, вся жизнедеятельность человека, субъектов экономики происходят на обширных территориях страны, в регионах, существенно отличающихся по уровню социально-экономического развития и уровню экономической безопасности. Так например, различия субъектов федерации по валовому региональному продукту составляют более чем в 350 раз, по размерам консолидированного бюджета более чем в 100 раза, по денежным доходам на душу населения практически в шесть раз. При таких различиях между субъектами федерации недостаточно диагностики экономической безопасности на общероссийском уровне. Требуется проведение основательных исследований по данной тематике на уровне регионов и анализ степени воздействия уровня региональной экономической безопасности на экономическую безопасность страны в целом.

Определение мониторинга как метода научного исследования трактуется в научной литературе по-разному. Так, Н. Рейменс отмечает, что смысл мониторинга состоит в выполнении двух зависимых функций – наблюдения и предупреждения [3]. Е. Кудрина определяет мониторинг как совокупность приемов по отслеживанию, анализу, оценке и прогнозированию социально-экономических процессов [4]. Ж. Ганеева в качестве определения мониторинга приводит систему сбора данных о сложном явлении, процессе, которые описываются с помощью определенных основных показателей в целях оперативной диагностики состояния объекта исследования и оценки его в динамике [5]. Е. Антосенков считает, что «мониторинг – это система сбора данных о сложном явлении, процессе, которые описываются с помощью

определенных ключевых показателей в целях определенной диагностики состояния объекта исследования и оценки его в динамике» [6]. О. Сладкова допускает возможность применения мониторинга для различных социально-экономических систем: «Использование технологии мониторинга позволяет делать плодотворные и глубокие выводы, в какой бы среде обитания или области деятельности, или в каком бы масштабе (глобальном, региональном, локальном, даже личностном) не проводилось мониторинговое исследование» [7].

Необходимость мониторинга экономической безопасности отражена и в Стратегии национальной безопасности РФ до 2020 года. Этот документ содержит основные характеристики для оценки состояния национальной безопасности, которые включают: уровень безработицы; децильный коэффициент; уровень роста потребительских цен; уровень государственного внешнего и внутреннего долга в процентном отношении от валового внутреннего продукта; уровень обеспеченности ресурсами здравоохранения, культуры, образования и науки в процентном отношении от валового внутреннего продукта; уровень ежегодного обновления вооружения, военной и специальной техники; уровень обеспеченности военными и инженерно-техническими кадрами [8].

Правовое поле для организации эффективной системы мониторинга было сформировано Законом РФ «Об информации, информатизации и защите информации» [9]. Согласно этому закону мониторинг осуществляется на базе создания единого информационного пространства посредством интеграции информационных ресурсов.

В работе [10] приведен обширный информационно-аналитический материал по вопросам экономической безопасности регионов России. Основываясь на системе индикаторов экономической безопасности России, авторы дают трактовку региональной системы экономической безопасности, ее индикаторов и пороговых значений.

В работе [11] обоснована необходимость и сформулированы основные принципы организации информационно-аналитической системы мониторинга экономической безопасности регионов, позволяющей проводить анализ угроз экономической безопасности, интегральную оценку экономической безопасности региона с целью обоснования комплекса мер по нейтрализации данных угроз.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2009 г. N 1088 утверждено Положение «О государственной автоматизированной информационной системе «Управление» (ГАС «Управление»), определены ее цели и задачи. Одной из важнейших задач этой системы является осуществление мониторинга, анализа и контроля исполнения принятых указанными органами решений, реализации основных направлений деятельности Правительства Российской Федерации, выполнения приоритетных национальных проектов, реализации мероприятий по оздоровлению российской экономики, процессов, происходящих в реальном секторе экономики, финансово-банковской и социальной сферах, социально-экономического развития субъектов Российской Федерации, эффективности деятельности органов государственной власти субъектов Российской Федерации [12].

В состав ГАС «Управление» входят ведомственные информационные системы (ВИС). Они представляют собой информационные системы федеральных органов исполнительной власти, информационные ресурсы которых предназначены для поддержки принятия управленческих решений в сфере государственного управления на ведомственном уровне. ВИС решают задачу сбора и обработки данных для осуществления мониторинга и анализа социально-экономического развития субъектов Российской Федерации, мониторинга результативности деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, мониторинга консолидированных бюджетов субъектов Российской Федерации, мониторинга реализации мероприятий по оздоровлению российской экономики и др. Ведомственные информационные системы реализуют сбор, систематизацию и анализ данных, необходимых для формирования обобщенных ведомственных показателей. Также в состав ГАС «Управление» входят региональные информационные системы, которые обеспечивают информационную поддержку принятия управленческих решений на уровне субъектов Российской Федерации.

Вместе с тем, анализ теоретических разработок и подходов к созданию информационной системы мониторинга экономической безопасности регионов показал, что они являются неполными. Если в ведущих странах мира, начиная с 90-х гг. XX века, мониторинг стал реальным инструментом управления в системе национальной и региональной безопасности, то в России работа в данном направлении только началась. Существующие в нашей стране системы мониторинга, как правило, производят оценку лишь отдельных аспектов безопасности, которая к тому же проводится нерегулярно. Таким образом, все изложенное обуславливает актуальность выбранной темы исследования.

### **Требования к информационной системе**

Во исполнение плана мероприятий по реализации Концепции создания государственной автоматизированной системы информационного обеспечения управления приоритетными национальными проектами одобренной распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 апреля 2007 г. № 516-р разработана Концепция создания типового программно-технологического обеспечения региональной системы мониторинга хода реализации приоритетных национальных проектов и социально-экономического развития на территории субъекта Российской Федерации (региональный сегмент ГАС "Управление") [13]. Основываясь на этой Концепции можно сформулировать основные требования и состав информационной системы мониторинга экономической безопасности регионов России. При создании информационной системы мониторинга экономической безопасности регионов России должно быть обеспечено выполнение основных и специальных требований, а также требований к стандартизации.

К основным требованиям можно отнести: системность, открытость, открытость и согласованность. Системность заключается в разумной декомпозиции системы, предоставляющая возможность независимой разработки и внедрения отдельных составляющих системы, что обеспечивает единство системы при ее взаимодействии с быстро изменяющейся внешней средой. Требование открытости заключается в способности системы к расширению состава наблюдаемых индикаторов экономической безопасности, увеличению количества источников информации и пользователей, возможностей обработки и визуализации результатов без нарушения ее внутреннего функционирования и характеристик эксплуатации. Необходимо разумное применение типовых, унифицированных или стандартизированных проектных решений и технологий, экзогенных и эндогенных интерфейсов и протоколов. Все этапы разработки и модернизации системы должны быть согласованы между собой.

К специальным требованиям, предъявляемым к информационной системе мониторинга, можно отнести: полноту и иерархичность информации, комплексную безопасность и семантическое единство.

Требования к стандартизации, предъявляемые к системе: обеспечение соответствия форматов обмена данными форматам, соответствие методических и регламентных документов типовым документам федерального и регионального уровня, обеспечение возможности централизованного обновления задач системы при изменении законодательства и методической базы.

### **Состав информационной системы**

Основными компонентами системы мониторинга экономической безопасности регионов России могут являться:

- база данных об индикаторах экономической безопасности регионов России, предназначенная для накопления и хранения данных из различных источников, необходимая для решения задач мониторинга экономической безопасности региона;
- подсистема загрузки, сбора и обработки первичной информации в базу данных, обеспечивающая возможность автоматизированного и ручного ввода данных из различных источников и возможность адаптации первоначальных данных к системе индикаторов безопасности регионов России;
- подсистема анализа и прогнозирования динамики индикаторов экономической без-

опасности регионов России, предназначенная для анализа текущей ситуации и построения сценарных прогнозов социально-экономического развития региона;

- средства визуализации данных и результатов расчетов в табличном, графическом и картографическом виде;
- программные модули администрирования, обеспечивающие выполнение операций ведения базы данных, управления учетными записями пользователей и разграничения прав доступа к ресурсам системы.

Для всех категорий пользователей системы мониторинга необходимо обеспечить безопасность и надежность их самостоятельного и совместного функционирования. В качестве инструмента работы с системой необходимо использовать специализированное программное обеспечение или веб-браузер.

**База данных** об индикаторах экономической безопасности регионов России в виде единого перечня показателей должно объединять информацию, необходимую для решения прикладных задач мониторинга, анализа и прогнозирования экономической безопасности регионов и характеризующую процессы социально-экономического развития субъектов Российской Федерации по основным проекциям экономической безопасности.

В базе данных должны содержаться следующие основные разделы:

- статистический раздел, ориентированный на отчетную информацию, поступающую от органов государственной статистики;
- ведомственный раздел данных, формирующийся за счет данных ведомственных индикаторов и обеспечивающий возможность централизованного хранения, накопления и представления данных по показателям, формируемым в министерствах и ведомствах на уровне региона;
- муниципальный раздел данных, пополняемый за счет информации, собираемой на муниципальном уровне;
- раздел служебных данных, формируемый администратором региональной системы.

Ведомственный и муниципальный разделы должны содержать отчетные, оценочные и прогнозные данные.

**Подсистема загрузки, сбора и обработки первичных данных** предназначена для обеспечения информационного наполнения базы данных и ввода данных из различных источников. При этом для хранения и обработки больших массивов данных возможно потребуется использовать технологии «больших данных».

При импорте данных должны быть предусмотрены средства, обеспечивающие верификацию и контроль поступающей информации за счет сравнения с условно-эталонными данными. Должна осуществляться проверка выбросов данных. Также подсистема должна предусматривать первичную обработку данных для адаптации исходной информации к системе индикаторов экономической безопасности.

В силу большого объема информации, наличия множества индикаторов экономической безопасности, имеющих различную размерность, их совместный детальный анализ весьма затруднен. Для решения этой проблемы в информационной системе будет использован метод, позволяющий анализировать исходные индикаторы, приведенные к безразмерному виду, а также обобщенные индексы экономической безопасности.

**Подсистема анализа и прогнозирования** динамики индикаторов экономической безопасности регионов России должна обеспечивать контроль и аналитическую оценку оперативной, ретроспективной и прогнозной информации о состоянии индикаторов экономической безопасности регионов России, а также обеспечивать возможность решения следующих основных задач:

- оценку и сопоставление динамики значений показателей экономической безопасности региона;
- проведение статистического анализа временных рядов и построение модельных зависимостей на основе проведенного анализа с использованием различных математических методов;

- выбор одного или нескольких методов прогнозирования экономической безопасности региона, исходя из особенностей динамики временного ряда индикатора;
- формирование комплексной оценки экономической безопасности региона на основе составления интегральных индексов экономической безопасности региона по различным проекциям.

Подсистема должна обеспечивать формирование прогнозов за ряд лет (1-3 года), а также обеспечивать формирование сценариев развития регионов Российской Федерации, проводить расчеты по сценариям и оформлять результаты сценарных расчетов в формы, удобные для проведения анализа.

**Средства визуализации и публикации данных** предназначены для отображения исходных данных и результатов расчетов. Средства представления данных должны обеспечивать:

- формирование, просмотр и печать сформированных данных и отчетных форм;
- экспорт полученных выходных отчетных форм в стандартные офисные приложения;
- представление данных в табличном, графическом и картографическом виде;
- формирование веб-раздела визуализации данных в сети Интернет.

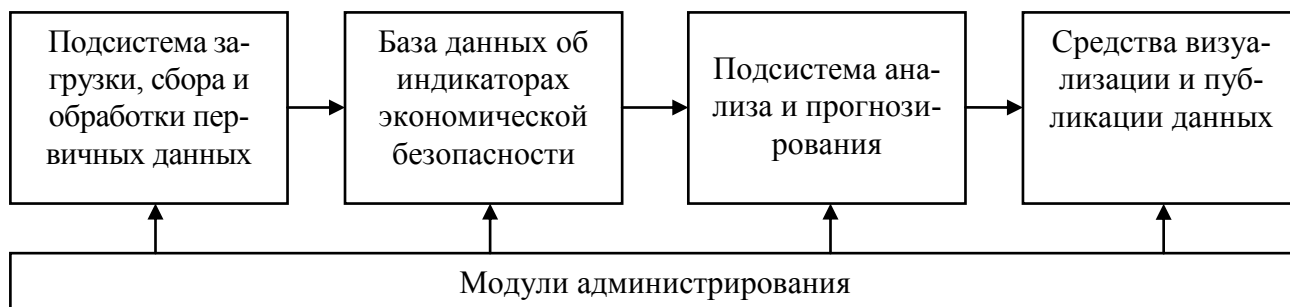
**Модули администрирования** предназначены для обеспечения информационной безопасности системы, за счет выполнения следующих задач:

- создание групп и отдельных пользователей,
- разграничение прав доступа к системе.

Основными направлениями создания системы защиты информации являются:

- организационно-режимные меры защиты;
- защита информации от утечки;
- обеспечение безопасности взаимодействия системы с внешними источниками и защита информации от несанкционированного доступа.

На рис. 1 представлена схема взаимодействия компонент информационной системы мониторинга экономической безопасности регионов России.



**Рис. 1. Схема взаимодействия компонент информационной системы мониторинга экономической безопасности регионов России**

### Заключение

В силу специфики информационной системы непосредственная оценка эффективности полученных результатов не представляется возможной. Вместе с тем, существуют подходы, позволяющие косвенно оценить социально-экономический эффект от внедрения подобных информационных систем. Оперативное прогнозирование угроз позволит руководству регионов своевременно определить состав антикризисных мероприятий, направленных на оздоровление экономики и социальной сферы и иных направлений системы экономической безопасности регионов. Стоимость разработки такой системы в силу ее универсальности несоизмеримо меньше возможных потерь, которые могут возникнуть при ее отсутствии.

Предполагается, что создание информационной системы мониторинга экономической безопасности регионов России позволит повысить эффективность управления экономиче-

ской безопасностью региона и уменьшить трудозатраты на операции по сбору, обработке, поиску и представлению данных. В статье предложена структура информационной системы мониторинга экономической безопасности регионов России. Обоснована актуальность разработки такой системы. Приведены основные и специальные требования, а также требования к стандартизации. Рассмотрены основные компоненты системы мониторинга экономической безопасности регионов России. Представлена схема взаимодействия компонент информационной системы мониторинга.

#### Библиографический список

1. **Сенчагов, В.К.** Экономическая безопасность России: общий курс: учебник / В.К. Сенчагов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 815 с.
2. Федеральный закон от 28.12.2010 N 390-ФЗ "О безопасности"
3. **Реймерс, Н.Ф.** Природопользование: слов.-справ / Н.Ф. Реймерс. – М., 1990.
4. **Кудрина, Е.Л.** Мониторинг библиотечных кадров в регионе как стратегия деятельности вуза // Науч. и техн. б-ки. 1999. № 4. С. 31–35.
5. **Ганеева, Ж.Г.** Определение понятия «мониторинг» в различных сферах его применения // Вестник Челябинского государственного университета. 2005. Вып. 8. № 1. С. 30–33.
6. **Антосенков, Е.Г.** Всероссийский мониторинг социально-трудовой сферы. Система показателей // Человек и труд. 1994. №3.
7. **Сладкова, О. Б.** Информационный мониторинг / О.Б. Сладкова. – М., 2001.
8. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года. Утверждена Указом Президента РФ от 12 мая 2009 г. № 537.
9. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. N 149-ФЗ.
10. Экономическая безопасность регионов России / В.К. Сенчагов [и др.]. – Н. Новгород: Растр-НН, 2012.
11. URL: <http://www.rppe.ru/wp-content/uploads/2011/05/abdulaeva-zz.pdf>.
12. URL: <http://www.gas-u.ru>.
13. URL: <http://torgprice.ru/post/1000/56/72149.php>.

*Дата поступления  
в редакцию 21.01.2014*

**E.S. Mityakov**

#### STRUCTURE OF THE INFORMATION MONITORING SYSTEM OF THE ECONOMIC SECURITY OF THE RUSSIAN FEDERATION REGIONS

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

The article offers a structure of the information monitoring system of the economic security of the Russian Federation regions and substantiates the relevancy of such system development. There are basic and special requirements set forth as well as the standardization requirements. The basic requirements include consistency, transparency, standardization and implementation of mutually consistent process of development and stepwise upgrade of the monitoring system structural components. The special requirements include completeness and hierarchical structure of inputs in the system, semantic uniformity and integrated security of the system. The standardization requirements include conformity of data interchange formats, conformity of methodical and procedural documents to the standard documents, capability of centralized updating of the system tasks based on the legal and procedural framework variations. There are principal components of the Russian Federation regional economic security monitoring system considered, such as the centralized storage of data on the Russian Federation regional economic security indicators in the form of the common list of parameters; raw data loading, collection and processing subsystem; analysis and forecasting system; data visualization and publishing tools; management modules. The article presents the pattern of interaction among the information monitoring system components.

*Key words:* economic security, information monitoring system, social and economic forecast, economic dynamics analysis, region economy.

УДК 338

М.М. Фролова

## ОСОБЕННОСТИ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИНОСТРАННЫХ ИНВЕСТИЦИЙ В СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Цель:** Анализ нормативных требований к осуществлению иностранных инвестиций в стратегические предприятия; мониторинг основных проблем, ограничивающих приток иностранного капитала, и поиск способов их решения.

**Методология:** В ходе работы автором дана оценка сложившегося инвестиционного климата в России; проведен анализ законодательства, регулирующего привлечение иностранного капитала в стратегические предприятия; выявлены основные проблемы и недостатки, создающие барьеры для иностранных инвесторов.

**Результаты и область их применения:** Обоснована необходимость привлечения иностранного капитала в стратегические предприятия; выявлены основные критерии сделок, подлежащих обязательному согласованию.

**Выводы:** Несмотря на рост притока иностранного капитала в российскую экономику в отношении стратегических предприятий существует ряд барьеров, ограничивающих действия иностранных инвесторов, вызванных, главным образом, несовершенством законодательства и отсутствием дифференцированного подхода при оценке сделок.

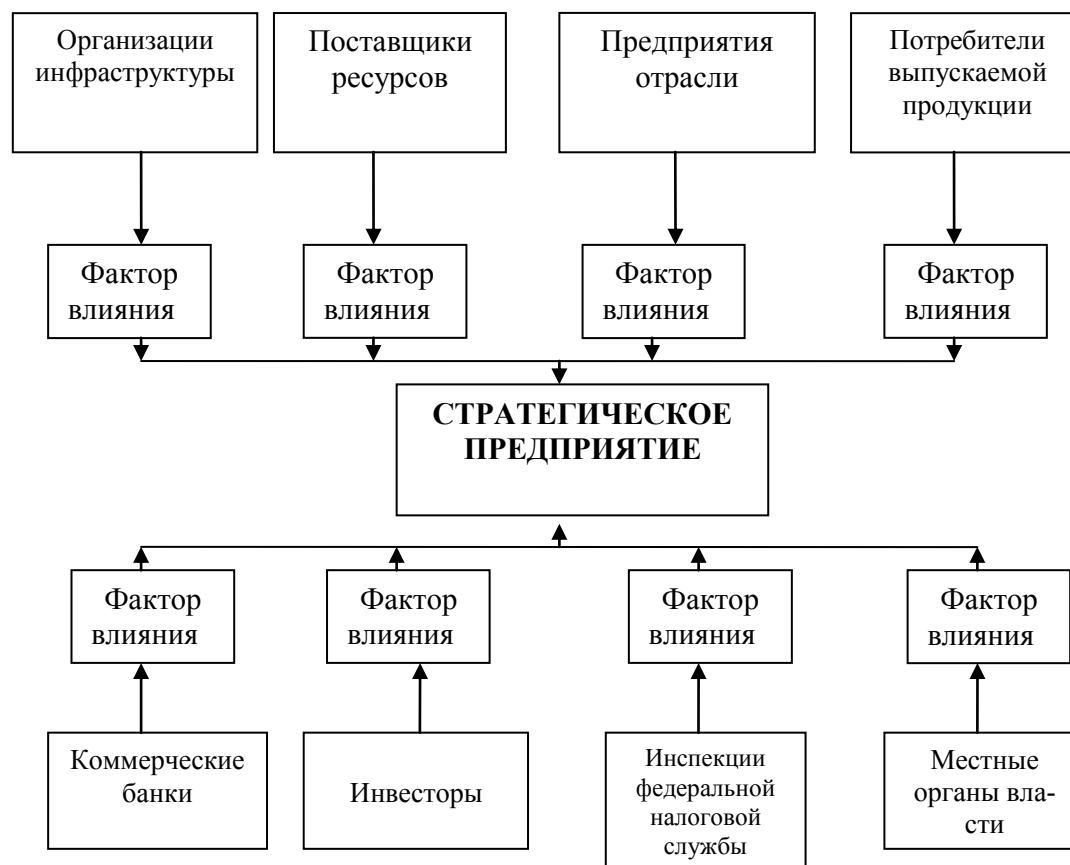
*Ключевые слова:* стратегические предприятия, инвестиции, капитал, иностранный инвестор, контроль над предприятием, стратегические виды деятельности.

Стратегические предприятия представляют собой особую категорию экономических субъектов, поскольку от их эффективного функционирования зависит не только экономическая, но и военная, политическая и социальная стабильность и безопасность страны. Последствия финансовых кризисов в мировой и отечественной экономиках оказали негативное воздействие на хозяйственную деятельность промышленных предприятий. Многие из них столкнулись с рядом серьезных проблем, таких как сокращение объемов поставок продукции на зарубежные и отечественные рынки, сокращение государственных заказов, увеличение стоимости заемных средств, увеличение случаев неплатежей по договорам, и как следствие, сокращение рабочих мест. Особо тяжелыми для страны являются последствия неразрешенности этих проблем стратегическими предприятиями. Одним из возможных способов разрешения сложившейся ситуации является привлечение иностранных инвестиций в российскую экономику.

Стратегическое предприятие представляет собой сложную производственно-хозяйственную и социально-экономическую систему, ежедневно вступающую в разнообразные взаимоотношения с различными экономическими субъектами, представителями его макро- и микросреды. Микросреда обычно включает участников ближнего окружения, с которыми предприятие взаимодействует непосредственно. Согласно описанным в экономической литературе классификациям, микросреду представляют: потребители, поставщики, конкуренты, банки, специализированные кредитно-финансовые учреждения, инвесторы и др. Поскольку особенностью стратегических предприятий является обязательное участие государственных органов власти в управлении их деятельностью, наряду с рыночными механизмами хозяйствования, представляется необходимым в структуру микросреды стратегического предприятия дополнительно включить факторы, отражающие влияние организаций инфраструктуры, фискальной политики инспекций федеральной налоговой службы, административной политики местных органов власти (рис. 1).

Одними из важных участников микросреды предприятия являются инвесторы, вступающие в отношения по поводу вложения средств в деятельность предприятия и стремящиеся получить определенный финансовый результат. Инвесторы могут быть как внутренними (российские организации, органы власти или резиденты страны), так и внешними (иностран-

ные физические и юридические лица). Инвесторы могут приобретать ценные бумаги, эмитируемые предприятием; являться учредителями или финансировать реализацию конкретного проекта. В условиях нестабильности экономической среды на внутренних и международных рынках, оттока капитала в страны с более привлекательными условиями инвестирования, вопросы взаимодействия стратегических предприятий с иностранными инвесторами становятся особенно актуальными.



**Рис. 1. Микросреда стратегического предприятия**

Необходимо отметить, что привлечение иностранных инвестиций в российские предприятия в целом является одной из приоритетных задач государства. Развитие отечественной экономики невозможно без притока внешнего и внутреннего капитала, поэтому вопрос о том, что необходимо сделать, чтобы стимулировать зарубежных инвесторов вкладывать свои средства в российскую промышленность, является на сегодняшний день особенно острым.

В настоящее время в международных рейтингах по привлечению иностранных инвестиций РФ находится в числе лидеров по двум параметрам - макроэкономической ситуации: 2-е место среди стран «Большой двадцатки» (G20) и потенциалу внутреннего рынка (7-е место среди 140 стран). Однако по уровню развития инфраструктуры и состоянию госорганов Россия отстает от ведущих стран. В этой связи основные усилия правительства направлены на решение именно этих вопросов.

По официальным данным министерства экономического развития в 2011 г. Россия заняла девятое место среди стран «Большой двадцатки» по объемам привлеченных за год прямых иностранных инвестиций, несмотря на общую тенденцию оттока инвестиций с развивающихся рынков из-за долгового кризиса в Европе. В табл. 1 представлена динамика иностранных инвестиций в российскую экономику в 2003-2012 гг. Данные представлены без учета органов денежно-кредитного регулирования, коммерческих банков, и включают также рублевые поступления, пересчитанные в доллары США.



Таблица 1

## Поступление иностранных инвестиций в Россию в 2003-2012 гг., млн долл.

|                                                            | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007   | 2008   | 2009  | 2010   | 2011   | 2012   |
|------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| <b>Иностранные инвестиции - всего</b>                      | 29699 | 40509 | 53651 | 55109 | 120941 | 103769 | 81927 | 114746 | 190643 | 154570 |
| в том числе: <b>прямые инвестиции</b>                      | 6781  | 9420  | 13072 | 13678 | 27797  | 27027  | 15906 | 13810  | 18415  | 18666  |
| из них: взносы в капитал                                   | 2243  | 7307  | 10360 | 8769  | 14794  | 15883  | 7997  | 7700   | 9080   | 9248   |
| кредиты, полученные от зарубежных совладельцев организаций | 2106  | 1695  | 2165  | 3987  | 11664  | 9781   | 6440  | 4610   | 7495   | 7671   |
| прочие прямые инвестиции                                   | 2432  | 418   | 547   | 922   | 1339   | 1363   | 1469  | 1500   | 1840   | 1747   |
| <b>портфельные инвестиции</b>                              | 401   | 333   | 453   | 3182  | 4194   | 1415   | 882   | 1076   | 805    | 1816   |
| из них: акции и паи                                        | 369   | 302   | 328   | 2888  | 4057   | 1126   | 378   | 344    | 577    | 1533   |
| долговые ценные бумаги                                     | 32    | 31    | 125   | 294   | 128    | 286    | 496   | 680    | 219    | 282    |
| <b>прочие инвестиции</b>                                   | 22517 | 30756 | 40126 | 38249 | 88950  | 75327  | 65139 | 99860  | 171423 | 134088 |
| из них: торговые кредиты                                   | 2973  | 3848  | 6025  | 9258  | 14012  | 16168  | 13941 | 17594  | 27775  | 28049  |
| прочие кредиты                                             | 1920  | 26416 | 33745 | 28458 | 73765  | 57895  | 50830 | 79146  | 139931 | 97473  |
| прочее                                                     | 324   | 492   | 356   | 533   | 1173   | 1264   | 368   | 3120   | 3717   | 8566   |

По данным Федеральной службы государственной статистики на конец июня 2013 г. накопленный иностранный капитал в экономике России составил 370,6 млрд долларов США, что на 10,7% больше по сравнению с соответствующим периодом предыдущего года. Наибольший удельный вес в накопленном иностранном капитале приходился на прочие инвестиции, осуществляемые на возвратной основе, - 66,9% (на конец июня 2012 г. - 59,0%), доля прямых инвестиций составила 31,2% (38,5%), портфельных - 1,9% (2,5%). В I полугодии 2013 г. в экономику России поступило 98,8 млрд долларов иностранных инвестиций, что на 32,1% больше, чем в I полугодии 2012 года. Объем погашенных инвестиций, поступивших ранее в Россию из-за рубежа, составил 62,5 млрд долларов, или на 7,4% меньше, чем в I полугодии 2012 года.

В табл. 2 представим распределение денежных вложений в российскую экономику по странам – инвесторам за период 2009-2011 гг., включая инвестиции из стран-участников СНГ.

Таким образом, структура стран-инвесторов в рассматриваемом периоде является непостоянной, наблюдается увеличение доли инвестиций стран-участников СНГ и одновременное снижение объемов вложений европейских государств.

Ввиду высокой значимости стратегических предприятий для экономической, оборонной, социальной безопасности страны, привлечение иностранного капитала такими организациями осуществляется в особом порядке. В частности, в настоящее время действует феде-

ральный закон «О порядке осуществления иностранных инвестиций в хозяйственные общества, имеющие стратегическое значение для обеспечения обороны страны и безопасности государства» N 57-ФЗ от 29 апреля 2008 г., создана и эффективно функционирует Правительственная комиссия по контролю за осуществлением иностранных инвестиций в РФ, а в структуре Федеральной монопольной службы выделено управление по контролю за иностранными инвестициями.

Таблица 2

## Основные страны-инвесторы в экономику России, млрд долл.

|                                          | Поступило     |             | В том числе       |                        |                   |
|------------------------------------------|---------------|-------------|-------------------|------------------------|-------------------|
|                                          | Всего         | в % к итогу | прямые инвестиции | портфельные инвестиции | прочие инвестиции |
| <b>2009 год</b>                          |               |             |                   |                        |                   |
| <b>Всего</b>                             | <b>81927</b>  | <b>100</b>  | <b>15906</b>      | <b>882</b>             | <b>65139</b>      |
| из них:                                  |               |             |                   |                        |                   |
| Люксембург                               | 11723         | 14,3        | 97                | 6                      | 11620             |
| Нидерланды                               | 11640         | 14,2        | 1441              | 0,1                    | 10199             |
| Китай                                    | 9757          | 11,9        | 301               | 0,0                    | 9456              |
| Кипр                                     | 8286          | 10,1        | 3704              | 458                    | 4124              |
| Германия                                 | 7366          | 9,0         | 2313              | 87                     | 4966              |
| Соединенное королевство (Великобритания) | 6421          | 7,8         | 542               | 15                     | 5864              |
| Швейцария                                | 3586          | 4,4         | 340               | 19                     | 3227              |
| Япония                                   | 3020          | 3,7         | 269               | 0,4                    | 2751              |
| Франция                                  | 2491          | 3,0         | 758               | 4                      | 1729              |
| Виргинские о-ва (Брит.)                  | 1792          | 2,2         | 703               | 21                     | 1068              |
| <b>2010 год</b>                          |               |             |                   |                        |                   |
| <b>Всего</b>                             | <b>114746</b> | <b>100</b>  | <b>13810</b>      | <b>1076</b>            | <b>99860</b>      |
| из них:                                  |               |             |                   |                        |                   |
| Соединенное Королевство (Великобритания) | 40770         | 35,5        | 584               | 18                     | 40168             |
| Нидерланды                               | 10696         | 9,3         | 1516              | 5                      | 9175              |
| Германия                                 | 10435         | 9,1         | 2582              | 3                      | 7850              |
| Кипр                                     | 9003          | 7,9         | 3451              | 312                    | 5240              |
| Китай                                    | 7631          | 6,7         | 120               | 0,0                    | 7511              |
| Люксембург                               | 5374          | 4,7         | 58                | 1                      | 5315              |
| Швейцария                                | 4679          | 4,1         | 108               | 97                     | 4474              |
| Франция                                  | 3702          | 3,2         | 960               | 0,0                    | 2742              |
| Ирландия                                 | 2557          | 2,2         | 201               | 0,0                    | 2356              |
| Виргинские о-ва (Брит.)                  | 2383          | 2,1         | 307               | 532                    | 1544              |
| <b>2011 год</b>                          |               |             |                   |                        |                   |
| <b>Всего</b>                             | <b>190643</b> | <b>100</b>  | <b>18415</b>      | <b>805</b>             | <b>171423</b>     |
| из них:                                  |               |             |                   |                        |                   |
| Швейцария                                | 91827         | 48,2        | 187               | 6                      | 91634             |
| Кипр                                     | 20268         | 10,6        | 4706              | 473                    | 15089             |
| Нидерланды                               | 16817         | 8,8         | 3308              | 20                     | 13489             |
| Соединенное королевство (Великобритания) | 13104         | 6,9         | 311               | 18                     | 12775             |
| Германия                                 | 10264         | 5,4         | 1732              | 1                      | 8531              |
| Люксембург                               | 4682          | 2,5         | 174               | 29                     | 4479              |
| Франция                                  | 4353          | 2,3         | 775               | 16                     | 3562              |
| Беларусь                                 | 3094          | 1,6         | 28                | 0,2                    | 3066              |
| Казахстан                                | 2409          | 1,3         | 15                | 0,1                    | 2394              |
| Австрия                                  | 2314          | 1,2         | 854               | 1                      | 1459              |

Законом определяется порядок осуществления иностранных инвестиций в хозяйственные общества, имеющие стратегическое значение для государства, обеспечивающий, с одной стороны, защиту национальных интересов РФ, а с другой - способствующий формированию предсказуемого и прозрачного делового климата для иностранных инвесторов. Кроме того, в законе определены признаки нахождения хозяйственного общества под контролем, виды сделок, на которые распространяется действие нормативного документа, а также приведен перечень видов деятельности, имеющих стратегическое значение. Например, стратегически важной признана деятельность в атомной, космической и авиационной отраслях, а также в сферах производства и оборота вооружения, военной и специальной техники, в области геологического изучения недр, разведки и добычи полезных ископаемых на участках недр федерального значения. В перечень также включены телевизионное и радиовещание, издательская и полиграфическая деятельность, оказание услуг естественными монополиями, за исключением субъектов естественных монополий в сферах услуг общедоступной электро-связи и почтовой связи и услуг по передаче тепловой и электрической энергии по распределительным сетям. Услуги провайдеров в указанный перечень не включены.

Решение о предварительном согласовании сделки по приобретению голосующих акций (доли в уставном капитале) стратегически важной организации принимается Правительственной комиссией по контролю за осуществлением иностранных инвестиций в РФ, возглавляемой Председателем Правительства РФ. Требуется согласование всех сделок, в результате которых иностранный инвестор приобретает контроль над стратегически важной организацией.

К сделкам, подлежащим предварительному согласованию, относятся:

- сделки (договоры купли-продажи, дарения, мены и др. голосующих акций (долей), составляющих уставный капитал, договоры доверительного управления), в результате совершения которых иностранный инвестор приобретает право прямо или косвенно распоряжаться более чем 50% общего количества голосов, приходящихся на голосующие акции (доли), составляющие уставный капитал стратегического предприятия; право назначать единоличный исполнительный орган и/или более чем 50% состава коллегиального исполнительного органа, совета директоров (наблюдательного совета) или иного коллегиального органа управления хозяйственного общества. В отношении предприятий, имеющих стратегическое значение и осуществляющих пользование участком недр федерального значения, пороговое значение составляет 25%.

- договоры об осуществлении иностранным инвестором (либо входящими в группу лиц коммерческой организацией или индивидуальным предпринимателем) функций управляющего (управляющей организации) в отношении хозяйственного общества, имеющего стратегическое значение;

- сделки, направленные на приобретение иностранным государством, международной организацией или находящейся под их контролем организацией права прямо или косвенно распоряжаться более чем 25 % общего количества голосов, приходящихся на голосующие акции (доли), или иной возможности блокировать решения органов управления стратегического предприятия либо права прямо или косвенно распоряжаться более чем 50% общего количества голосов, приходящихся на голосующие акции (доли), составляющие уставный капитал хозяйственного общества, имеющего стратегическое значение и осуществляющего пользование участком недр федерального значения;

- иные сделки, направленные на передачу иностранному инвестору или группе лиц права определять решения органов управления хозяйственного общества, имеющего стратегическое значение, в том числе условия осуществления им предпринимательской деятельности.

Кроме того, согласование обязательно в случае сделок, совершаемые иностранным инвестором в отношении третьих лиц, прямо или косвенно осуществляющих контроль над стратегическим предприятием, и влекут за собой установление контроля над таким хозяйственным обществом, а также изменения соотношения голосов, приходящихся на голосую-

щие акции (доли), вследствие выкупа акций (долей) у собственников, конвертации привилегированных акций в обыкновенные и т.п.

Необходимо отметить, что предложенные законом критерии не предусматривают дифференцированного подхода к предприятиям, не учитывают особенности того или иного вида экономической деятельности, что является существенным барьером для инвесторов, заинтересованных во вложении средств в предприятия, занимающихся производством продуктов питания.

За пять лет действия закона «О порядке осуществления иностранных инвестиций в хозяйственные общества, имеющие стратегическое значение для обеспечения обороны страны и безопасности государства» в Федеральную антимонопольную службу (ФАС) поступило 311 ходатайств, из них 165 рассмотрены Правительственной комиссией, по которым в 156 случаях принято решение о предварительном согласовании (в 38 случаях – с возложением обязательств) и лишь в 9 случаях – об отказе в предварительном согласовании по причине угрозы обороноспособности и безопасности России; 106 ходатайств возвращены заявителям как не требующие предварительного согласования; 35 – отозваны заявителями по причине отказа от намерения осуществить планируемую. Всего же за этот период в хозяйственные общества, имеющие стратегическое значение, было инвестировано около 40 млрд долларов.

Зарубежные предприниматели предпочитают вкладываться в недропользование, теле- и радиовещание и субъекты естественных монополий. Касательно сделок M&A (Mergers and acquisitions) в целом по России, можно отметить, что отраслевой охват таких сделок достаточно широкий – это и авиационная техника, и оборудование, и материалы для атомных электростанций, и аэропорты, и космическая деятельность. Хотя сегодня в России уже наблюдается достаточно существенная активизация рынка слияний и поглощений, в том числе и с участием иностранных инвесторов, по мнению экспертов, объем инвестиций в российскую экономику мог быть больше.

Преимущества предоставления иностранным инвесторам допуска к приватизации пакетов крупных госкомпаний заключается в увеличении конкуренции за эти пакеты между отечественными и зарубежными инвесторами, уменьшении искусственных ограничений состава участников, росте дохода государства от приватизационных сделок. К преимуществам также можно отнести создание более крупных компаний, имеющих больший вес на международных рынках; привнесение новых технологий и новых форм ведения бизнеса в российские предприятия в случае приобретения иностранцами крупных пакетов акций в процессе приватизации.

Однако применение норм закона «О порядке осуществления иностранных инвестиций в хозяйственные общества, имеющие стратегическое значение для обеспечения обороны страны и безопасности государства» на практике выявило ряд недостатков и потребовало доработки отдельных положений. В течение последних лет принят не один пакет поправок, направленных как на упрощение процедур контроля путем устранения излишних административных барьеров для иностранных инвесторов, так и на уточнение некоторых норм закона. Впервые либерализация законодательства была проведена в 2011 году, когда увеличили пороговое значение установления контроля иностранным инвестором над недропользователем с 10 до 25 %, из стратегических видов деятельности исключили деятельность по эксплуатации радиационных источников в гражданском секторе экономики, а также криптографию и шифрование, используемые банками, что позволило иностранным инвесторам приобретать акции (доли) банков, в которых нет участия РФ, без согласования Правительственной комиссии. Кроме того, для иностранных инвесторов существенным образом упростили форму бизнес-плана, предоставляемую на рассмотрение в Федеральную антимонопольную службу.

В настоящий момент очередной пакет поправок, который также направлен на упрощение и уточнение требований 57-ФЗ, находится на рассмотрении Государственной Думы и принят уже в первом чтении. Поправки уточняют понятие акционерных соглашений об

управлении – теперь такие соглашения будут попадать в сферу действия закона. Если в результате соглашения акционеров инвестор получает возможность управлять стратегическим предприятием, даже не владея в нем контрольным пакетом, ему нужно будет обращаться за разрешением в правительственную комиссию.

Значительная часть законопроекта посвящена либерализации иностранных инвестиций. Так, иностранцы освобождаются от необходимости предварительного согласования сделок по месторождениям федерального значения, если эти участки недр на 50% прямо или косвенно принадлежат государству и в результате сделки порог не будет преодолен. Такое согласование не потребуется и тем иностранным инвесторам, которым уже принадлежит 75% стратегического предприятия. Освобождаются от согласования сделки по приобретению дополнительных пакетов акций, если в их результате не меняется степень контроля за предприятием (не пересекается порог в 25%, 50% или 75%). Сделки в рамках реорганизации внутри холдингов также выводятся из-под контроля правительственной комиссии. Из сферы действия закона исключаются и сделки с организациями, которые находятся под контролем субъектов Федерации.

Согласно законопроекту, инвесторы получают возможность продления срока действия ранее принятых правительственной комиссией решений о предварительном согласовании сделок. Кроме того, предполагается отменить согласование привлечения иностранных инвестиций в предприятия по производству продуктов питания, включая молочные заводы.

Несмотря на то, что принятые поправки призваны решить часть существующих проблем, нерешенной остается проблема отраслевой дифференциации, требует оптимизации и перечень документов, предоставляемых на рассмотрение потенциальными инвесторами.

### **Выводы**

В условиях снижения экономической активности, влияния негативных последствий мировых финансовых кризисов на экономику России, вопросы привлечения иностранных инвесторов становятся особенно актуальными. Несмотря на положительную динамику объемов иностранных инвестиций в российские предприятия, задача улучшения инвестиционного климата в стране остается одной из приоритетных. Особенно сложной является проблема привлечения иностранного капитала стратегическими предприятиями, поскольку потеря контроля над этими хозяйствующими субъектами может нанести вред экономической и политической безопасности страны.

Действующее законодательство, регулирующее процесс осуществления иностранных инвестиций в предприятия, имеющие стратегическое значение, выделяет ряд критериев в отношении сделок, требующих согласования с органами антимонопольного регулирования. Однако указанные критерии являются едиными для предприятий, осуществляющих разные виды экономической деятельности (за исключением организаций, осуществляющих пользование участком недр федерального значения), что на сегодняшний день является существенным недостатком.

Разработанные законодателями поправки в действующую редакцию закона призваны исключить неоднозначности толкования действующих норм, уточнить понятия «соглашение», упразднить необходимость предварительного согласования сделок для внутренних инвесторов, исключить из стратегических видов деятельности – деятельность по использованию возбудителей инфекционных заболеваний хозяйственными обществами, основная деятельность которых связана с производством продуктов питания; упростить процедуры согласования сделок для отдельных групп инвесторов, предоставить возможность продлевать срок действия выданного ранее решения о предварительном согласовании сделки. Указанные меры позволят снять часть проблем, создающих препятствия для вхождения иностранного капитала, а также повысить инвестиционную привлекательность предприятий, имеющих стратегическое значение, и российской экономики в целом.

## Библиографический список

1. Федеральный закон N 57-ФЗ от 29 апреля 2008 г «О порядке осуществления иностранных инвестиций в хозяйственные общества, имеющие стратегическое значение для обеспечения обороны страны и безопасности государства» [Электронный ресурс]: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=121821>.
2. Башева, М.М. Определение предпочтительных стратегических предприятий заинтересованными сторонами: монография / М.М. Башева, А.Ф. Плеханова: НГТУ им.Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2010. – 121 с.
3. Иностранные инвестиции: Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]: <http://www.gks.ru/>
4. Контроль иностранных инвестиций: Федеральная антимонопольная служба. [Электронный ресурс]: <http://www.fas.gov.ru/>

*Дата поступления  
в редакцию 21.01.2014*

**M.M. Frolova**

**FOREIGN INVESTMENTS IN THE STRATEGIC ORGANIZATIONS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** To analyze actual standard requirements for foreign investments into the strategic organizations; to discover the main problems limiting the foreign capital inflow, and to search ways of their decision.

**Methodology:** In this article the author assessed the prevailing investment climate in Russia, analyzed the current legislation to attract foreign investment in strategic organizations, and revealed the main problems that create barriers for foreign investors.

**The results and their application area:** The author proved the necessity of attracting foreign capital in Russian strategic organizations; identified the main transactions criteria for mandatory agreement with government; revealed that these criteria did not take into account economic activities of the organization.

**Conclusions:** Despite the global trend to reduce investments there is an annual increase of foreign capital in Russia. However, strategic organizations have various barriers that restrict the foreign investor activities. Limitations caused mainly by the imperfection of the current legislation and the lack of a differentiated approach in evaluating transactions.

*Key words:* strategic organizations, investment, capital, foreign investor, control over the organizations, strategic activities.

## СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ

УДК 316(075.8)

А.В. Багаев

### И.А. ИЛЬИН ОБ УПРАВЛЕНИИ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ СОВЕТСКОГО ОБЩЕСТВА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Предметом настоящей статьи является историко-методологический анализ взглядов русского мыслителя И.А. Ильина в сфере социально-экономического управления. Убеждённый сторонник монархии и православной культуры, И.А. Ильин дал глубокую критику советского способа хозяйствования, актуальную в настоящее время, когда воссоздаются многие управленческие практики социалистического периода. Одной из главных идей Ильина является неизбежность возрождения России на путях изживания социализма, духовного воспитания при христианизации культуры.

*Ключевые слова:* социальная философия, философия истории, руссиеведение, советология, хозяйственная этика, экономическая аксиология, духовные аспекты экономической жизни.

Для эффективного управления социально-экономическими процессами современного общества необходимо обращение к опыту СССР. Продуктивный анализ указанного аспекта советского общества был сделан русским философом И.А. Ильиным, творчество которого остается актуальным и в наши дни.

Иван Александрович Ильин (1883-1954) – выдающийся русский религиозный философ, правовед, искусствовед и литературовед, руссиевед и советовед [1]. В качестве последнего оставил обширное наследие, раскрывающее основы общественного строя в СССР. Исследователь духа, Ильин интересен обращением к внутреннему миру людей. Он дает объяснение возникновению сущности и перспектив развития советского общества. Поэтому актуальность темы в возможности обогащения понимания как позиций самого Ильина на строй советского общества, так и сущности жизни в СССР с точки зрения Ильина – советоведа. Новизна темы – в углублении знаний о взглядах Ильина на жизнь советского общества за счет раскрытия менталитета общества и обобщения источников и литературы по теме, дающих целостную картину существования людей в СССР.

Цель работы – показать понимание Ильиным сущности советского общества как целостной системы. На основе источников раскрываются конкретные стороны условий существования общества. Следовательно, задача работы – дать характеристики управления советского общества в социально-экономической сфере в понимании Ильина.

Учитывая, что есть различия индивидуальных особенностей людей по возрасту, социальному статусу, религии и национальности, в исследовании раскрываются единые характеристики советского общества как вобравшего в себя коммунистическую идеологию и практику. С одной стороны, Ильин противопоставлял стоящих у власти коммунистов и обманутый ими русский народ, но с другой стороны, он постоянно подчеркивал общую «болезнь» советского общества. Поэтому то, что говорится далее о большевиках-коммунистах относится и к обществу в целом. Жизнь людей в СССР рассматривается статически как сложившееся к 30-м годам XX века единое общество. С этим ограничением не прослеживается и эволюция

взглядов Ильина на советское общество, сосредоточивая внимание на сущности важнейших характеристик последнего.

Приведем характеристику источников. В работе использованы опубликованные источники, разделенные на три группы: работы Ильина (различного характера); дневники, письма, документы, имеющие как личное, так и официальное происхождение. Ильин – дворянин по рождению и православный, идеолог белого движения и неомонархист по взглядам, был убежденный и деятельный враг безбожия и большевизма-коммунизма, что отразилось на его характеристиках советского общества. Нужно отметить высокую степень достоверности приводимых Ильиным фактов. Он лично пережил 5 лет советского режима, а затем постоянно следил за событиями в СССР в эмиграции: по 16 лет в Германии и Швейцарии. Его рассуждения, по словам самого Ильина, основаны на непосредственных коммунистических партийных протоколах или статьях, брошюрах и книгах руководящих и видных коммунистов.

Экономический строй советского общества, по Ильину, имел преемственность от недугов «русского дореволюционного хозяйственного акта» как одной из причин революции 1917 г.: «В массе был не воспитан и болел хозяйственный акт – неутвержденность частной собственности; недостаточная вера в труд; необеспеченность правопорядка; воля к наживе не через труд и безволие в труде; неуверенность и задержанность хозяйственного самовложения – отсюда экстенсивность хозяйствования, пониженная доходность; вера в объем и неверие в качество хозяйствования; склонность напирать на соседа (особенно на богатого, но и на бедного), а не на природу. И многое другое» [3, с. 104]. Прежний хозяйственный акт через «зловещую» политику государства был трансформирован в советскую экономику в «кастрированный инстинкт самосохранения», сведя массы к двум основным классам: «пролетариату, понимающемуся у государства-монополиста на работу, и коммунистам, ведущим диктатуру, наем и надзор, монопольно организующим хозяйственное производство, распределение и потребление» [3, с. 126]. Н.П. Полторацкий отмечал у Ильина пристальное внимание к природе революции и большевизму в России. Из огромного наследия Ильина, посвященного этим темам, Полторацкий выделяет «Тетрадь №5», которая была впервые опубликована в журнале «Русское возрождение» за 1983 г. Пояснительный текст Полторацкого, сопровождающий данную публикацию, дает анализ взглядов Ильина на советское общество, в том числе его социально-экономического строя. Полторацкий, среди прочего, акцентирует внимание в тексте Ильина, на том, что: «Революция, означавшая новую социальную дифференциацию, привела к созданию нового ордена коммунистических рабовладельцев» [4, с. 420]. Это подтверждает мысли Ильина о социально-экономическом строе в СССР. Но далее Полторацкий отмечал в записях Ильина на возможность их неоднозначного суждения, не снижая при этом общего значения вклада автора в разработку данных вопросов. «Нет необходимости разделять все суждения автора этих записей, чтобы признать их большую общую ценность. Заслуга Ильина – в остроте наблюдений, идей и формулировок и в глубокой проницательности и дальновидности, проявленных еще на заре революции и большевизма, когда так сильны были политические иллюзии и так захватывающи пропагандные мифы» [4, с. 432].

Поэтому благодаря революции 1917 г. в России государство, согласно Ильину, в советском обществе стало монополистом в экономике страны, которое централизовано планирует и контролирует производство, распределение и потребление выпускаемой продукции. Насилие в экспроприации средств из частного сектора экономики в пользу государства оправдывалось вынужденной мерой в борьбе с «классовым врагом». Коллективные формы работы через раскулачивание в колхозах и совхозах и на предприятиях организованного пролетариата («наймиты») привели, по мнению Ильина, к ущербу индивидуальности «хозяйственный акт» каждого работника.

Взгляды Ильина на экономику советского общества отражены и в других работах. Экспроприация всей частной собственности в стране ведет к полной зависимости всех от единого работодателя – государства. «Рабочего принуждают к «добровольной» сверхуроч-



ной работе, учителя – к обучению детей в школе безбожию, а работающих женщин – терпеть сексуальные домогательства начальников – коммунистов» [5]. Всеобщая централизация и бюрократизация хозяйства в стране закрепляет в экономике безответственность, всеобщую ложь и потерю всякого интереса к труду. Политика государства в экономике через ликвидацию частной собственности привела к ущемлению личной инициативы и отчуждению от какой-либо работы. Этим проблемам Ильин посветил специальные статьи, в которых затронул вопросы: последствия экспроприации для различных слоев страны и народа в целом, любое чувство собственности и парализация среднего сословия как предпосылки коммунистической революции, мировой кризис частной собственности и его преодоление. У человека, еще хранившего здоровое чувство частной собственности, согласно Ильину, «вырабатывают установку социально неполноценного человека; его беспрерывно обвиняют, и он обязан постоянно извиняться; в его душу вселяют неуверенность и ложный стыд. Постепенно парализуют его. Морально и психически» [6]. Дореволюционные экономические недуги в условиях произвола советского режима развились в неуважение к собственности, бесхозяйственное ею распоряжение. Безразличие в хозяйственном акте, по мнению Ильина, неизбежно привело к состоянию «воровства и нужды, всеобщего обнищания».

В ряде работ Ильин раскрывает внутренние побуждения собственника и указывает на ложный путь, по которому пошла экономика в СССР. Ибо «хозяйство без свободного внутреннего побуждения, без личной инициативы и частной собственности, бюрократически ведомое безразличными чиновниками, – не создает ни благосостояния, ни даже достаточного и сколько-нибудь доброкачественного продукта: оно общественно и государственно вредно» [7]. Видно, что Ильин уделял пристальное внимание отчуждению собственности в России, связывая этот процесс с мировым кризисом частной собственности. «Всеобщее культурное опрощение и деградация», по Ильину, приводят в экономической сфере к тому, что «инстинкт собственника становится слепым, пошлым, легкомысленным, безответственным; собственность воспринимается вне связи с производством и совершенствованием, но цениться как потребительская возможность, за которую борются» [8].

В свете сказанного очевиден вывод Ильина о том, что осуществление экспроприации, духа классовой ненависти и диктатуры привилегированного слоя неизбежно приведет к крушению социализма [9]. Так как, считает автор, политика большевиков в экономике противоречит социальным (но не социалистическим!) основам христианства, следование которым дает надежду, по мнению Ильина, на будущее возрождение России. Экономическая отсталость страны противоречит показным «успехам труда» в официальной пропаганде через неоправданное перенапряжение сил народа (лозунг: «Догнать и перегнать Америку!») и лживые оправдания трудностей правительства «вредительством классовых врагов», на что не раз указывал Ильин в различных работах. Признавая за христианством идеал праведной жизни, Ильин сравнивает его с безбожным коммунизмом в отношении хозяйственной деятельности: «Христианство, таким образом, относится к коммунизму как свобода к принуждению, как щедрость к грабежу, как радостное отношение к труду свободного человека к недобросовестному отношению к труду человека подневольного» [10, с. 291]. В работе «Христианство и большевизм» автор скрыто обнаруживает свои симпатии к эталонам христианской жизни. Ильин показывает отличие последней от коммунистического режима в различных сферах жизни, в том числе в экономике. Видится некоторая идеализация и утопичность христиан с точки зрения Ильина в стремлении «сгладить неравенство имущественного распределения своей нравственной жертвенностью и щедростью» [10, с. 291]. Реальность была далека от осуществления норм христианства, которое явилось одним из источников мирового кризиса, не справившись со своей социальной миссией, на что не раз указывал сам Ильин. Однако контраст желания и действительности в позиции Ильина не умаляет качество его характеристик экономики в СССР.

Полторацкий отмечал в работах Ильина два главных соблазна большевизма, имеющих прямую связь с экономикой в СССР: «Говоря о наследии и соблазнах большевизма-

коммунизма, Ильин однажды выделил два главных: соблазн большевистской «свободы» и соблазн тоталитарного государства и коммунистической каторги» [11, с. 455]. Это подтверждает глубину проникновения Полторацкого в тексты Ильина, которые у последнего отмечаются ясностью формулировок: «И первый из них – соблазн большевистской «свободы», «свободы» от Бога, от духа, от совести, от чести, от национальной культуры, от родины<...>. Второй соблазн есть соблазн тоталитарного государства и коммунистической каторги, соблазн обещающий разбойничье «величие» через порабощение и через ограбление остального человечества, и обезьянье «счастье» через отказ от личного начала, от творческой инициативы и от свободного вдохновения» [12, с. 160-161]. Таким представляется Ильину экономический строй советского общества. По социальным вопросам взгляды Ильина во многом определяются отношением разработанной им «идеи ранга» к советской действительности. Считая людей «самобытными и своеобразными» при рождении и в процессе жизни, Ильин указывает на противоестественную позицию «людей равенства» (эгалитаристов). По его мнению «в идее «ранга» есть две стороны: во-первых, имеется в виду присущее человеку качество – это его действительный ранг; во-вторых, имеется в виду его полномочия, права и обязанности, которые признаются за ним со стороны общества или государства, – это его социальный ранг» [12, 356]. Утрата здорового чувства ранга при несовпадении рангов является, по утверждению Ильина одной из характеристик социального строя в СССР, в котором вделано все, «чтобы выдвинуть худших, чтобы вознести бессовестных и бесчестных, чтобы создать новый социальный отбор бесчестия, раболепства и насилия, а когда русские люди стали это понимать, то увидели себя в ярме; увидели себя перед выбором: или участвовать в раболепстве и бесчестии – или погибать в лишениях и унижениях» [12, с. 352]. Явно жесткая позиция автора говорит о его непримиримой вражде к режиму в СССР.

Тема революции волновала Ильина на протяжении всей жизни. Он считал, что многие черты социального строя в СССР были обусловлены именно революцией. Большевизм как реализация революции, писал Ильин, «есть разложение духа и разложение личности в человеческой душе. В человеке разлагается и слабеет духовное начало: он начинает посягать на все и разрешать себе все. Формулы большевизма: «все немедленно мне» и «все средства хороши». Именно поэтому на большевизм так легко отзываются все беспринципные карьеристы, все политические авантюристы, безыдейные честолюбцы, продажные люди, хулиганы и в особенности профессиональные преступники. <...> Он подавляет свободного человека, его инициативу и его духовное самоуправление: человек есть для большевика материальный атом, покорная машина или раб» [13]. Для автора важен новый социальный состав советского общества на основе «разложения духа» и порабощения человека.

«Катастрофа» и «безумие» русской революции стали органической частью социального строя в СССР, вобравшего в себя новую ткань социальных отношений. Вот почему Ильин приложил титанические усилия для выявления язв и сущности прежде всего революции! [12, с. 128-135]. Особого внимания заслуживает работа: «Почему сокрушился в России монархический строй?» [12, с. 92-108, 230-240]. В ней Ильин подробно разбирает причины, которые способствовали появлению нового социального строя и, что для нас важно, преемственность характеристик революции и стабильного советского общества. Черты определенных социальных групп, участвовавших так или иначе в революции, рассматриваются автором вместе с общими недугами России и помещены в отдельные статьи. Главной причиной крушения монархии в России Ильин считает нарушение во всех слоях населения правосознания (введенное в оборот автором понятие). Это означает, что пошатнувшееся монархическое правосознание народной массы, интеллигенции, Государя и правящей Династии, монархической партии привело к утверждению большевизма, которые всеми средствами «сам» насаждал новое правосознание. Большевики, по мнению Ильина, «все время нажимали на массы голодом, страхом, обещаниями и подачками, развращая человеческую совесть и правосознание» [14, с. 237]. Этим объясняется вхождение «капитала» революции в социальный строй советского общества.

Разбирая приведенную ранее работу Ильина, Н.П. Полторацкий в контексте анализа идей своего учителя о монархии и республике, верно подметил главное – отсутствие «крепкого и верного монархического правосознания», вошедшего искаженным по взгляды советских людей. «Не просто правосознания – «рассуждения» и «понимания», но правосознания – чувства, доверия, ответственности, действенной воли, дисциплины, характера и религиозной веры» [15]. Это доказывает большое влияние правосознания, с точки зрения Полторацкого, на судьбу людей в СССР. Полторацкий рассматривал работы Ильина, посвященные внутренним причинам революции в России, в которых выделял у последнего «государственную слабость интеллигенции, религиозную невоспитанность национального характера, русскую культурную и хозяйственную отсталость, а равно и историческую неустроенность русского крестьянства» [4, с. 403], а также отдельные причины революции. Для социального строя советского общества. Полторацким подтверждается «объективная» составляющая, идущая от недугов дореволюционной России. Полторацкий детально описывал «природу и ход революции», раскрывая мысли Ильина о сущности большевизма, который стал неотъемлемой частью советского общества, особенно в его социальном аспекте. И это не случайно! Ибо «то, что Ильин писал о революции вообще, о русской революции и о периоде гражданской войны, в значительной степени относится и к тому советско-коммунистическому строю, который утверждался в России в 20-х и 30-х годах» [4, с. 418].

Заканчивая тему революции, укажем, что политика государства по другим вопросам социально-экономической сферы жизни в СССР, в связи с влиянием прошлого, с точки зрения Ильина, ясна из приведенных ранее положений нашей работы. Социальные отношения общества представлены Ильиным в фундаментальном исследовании «Большевистская политика мирового господства. Планы III Интернационала по революционированию мира». В отдельных главах рассмотрена политика государства по отношению к различным группам населения внутри страны и за рубежом. Советское общество делится на: рабочих, среднее сословие, крестьянство и армия по профессии и статусу (Гл. 6, 11, 14); женщин и детей, молодежь по половозрастному признаку (Гл. 9, 10); различные массовые организации (коммунистическая партия, коммунистический союз молодежи и др.) как обязательные для каждого человека коллективные формы существования (Гл.8). Насаждение социализма во всем мире III Интернационалом, руководимым компартией из Москвы, имеет подтверждение в уже успешной реализации большевизма внутри страны.

Дифференциация населения в СССР по социальному составу от чиновника-партийца до заключенного жестко закреплена в обществе от проводимой государством политики. Ибо, опираясь на коммунистические источники, Ильин показывает «большевизацию масс» всеми возможными способами, выраженную целями: «1. Завоевание большинства «собственного класса», т.е. пролетариата. <...> 2. Совершенно необходимо далее охватить пропагандой и агитацией также непролетарские массы населения. <...> 3. Но для этого совершенно необходимо расширить «собственную» коммунистическую партию и сделать ее настоящей массовой партией» [16]. И если активное претворение в жизнь этих целей, как считает Ильин, способно охватить весь мир, то можно заключить, что социальный состав в СССР стал действительностью. О социальных отношениях в СССР Ильин писал и в других работах. Так, он делил народ в большевистском государстве на три слоя. «Первый – во всех отношениях привилегированная коммунистическая партия (около 2,5 млн чел., включая так называемых «кандидатов партии»), второй – наполовину привилегированный слой пролетариев, огромный социальный резервуар, из которого выходят члены партии и советские чиновники (около 15 млн наймитов предприятий, железных дорог и т.д.); и наконец – остальная бесправная, порабожденная масса крестьянства и бывшей буржуазии (около 145 млн чел.)» [17, с. 161]. Этим Ильин доказывает отрицание справедливости в СССР, обманчиво декларируемой пропагандой. При этом Ильин считал, что насаждение большевизма для нового социального строя характерно «исключительно для черни – не для «народа», не для «простолюдов», а именно

для черни – алчно, разбойно и разнузданно, а потому противогосударственно настроенных людей, которых можно встретить на всех ступенях общественной лестницы и во всех сословиях. <...> политическая деморализация захватывает сначала правящие и образованные круги и только потом (именно благодаря этому) распространяется в народных массах» [17, с. 155]. Ильин указывает «на глухое и тем не менее безошибочное чувство нерешенных жизненно важных проблем» [18], характерное для народных масс, которые поэтому поддаются большевизму, обещающему «легко» улучшить их жизнь. Поэтому большевизм имеет глубокие корни не только у верхушки общества, но и среди народных масс, что позволяет утверждать об устойчивости советского общества, не смотря на его болезненные явления, показанные Ильиным. Соблюдение прав и обязанностей является неотъемлемой частью регулирования социальных отношений. Раскрывая этот аспект, Ильин писал: «Тоталитарное государство есть не что иное, как радикальное отречение от священных и неотъемлемых человеческих прав, от всяческих духовных и материальных основ правопорядка, судопроизводства, справедливости, семейной жизни и субъективной свободы. Отвергается и попирается известная сущность права. Сила становится выше права. Насилие и произвол значат больше, чем справедливость» [19]. Отсутствие прав личности и насилие к исполняющим обязанности есть сущность, по Ильину, социального строя в СССР. При этом, как указывалось выше, новый социальный порядок обеспечивает привилегии чиновникам и террор «врагам народа».

Сущность социальной политики большевиков рассматривается Ильиным и в других работах. Так, объясняя живую социальность как идеал общества, он противопоставляет ей ложь социализма, ведущего к «всеобщему рабству». «Это коварный обман обещать людям под именем «социализма» справедливость и братство и потом отнять у них достоинство, свободу, способность к братству и путь к справедливости» [12, с. 40]. Неслучайное внимание к проблеме справедливости говорит о высокой ее роли в социальных отношениях советского общества с точки зрения Ильина. Он снова и снова обращается к этой теме, давая теоретическое обоснование справедливости; ее утрату и искажение в сознании людей и на практике при большевиках; а также возможное восстановление России в духе «христианского понимания справедливости» [12, с. 231-244]. Мечта о справедливости связывалась в советском обществе с осуществлением социализма. Но Ильин показывает, что не только в СССР, но и в других странах, «захваченных социализмом», опыт опровергает марксистскую утопию о райской жизни. «И когда человечество вынашивает мыслью, воображением, волею и верою – какую-нибудь социальную химеру, то разоблачить и преодолеть ее может только опыт. <...>... Не значит ли это, что марксизм погубит свободу и демократию? Мы полагаем, что это неизбежно, ибо самое естество социализма требует тоталитарного строя» [14, с. 139-141]. Социальные отношения советского общества представлены Ильиным также политикой государства по национальному, конфессиональному и демографическому вопросам.

Многие работы посвящены русской национальности как этнически-самобытному социальному организму [12, с. 359-374]. Так, в некоторых статьях автор, опираясь на широкий исторический материал, заявляет свою позицию в противовес большевизму, который лишил русский народ национального достоинства, духа и инстинкта. «В противоположность всякому интернационализму – как сентиментальному, так и свирепому; в противовес всякой денационализации, бытовой и политической, - мы утверждаем русский национализм, инстинктивный и духовный, исповедуем его и возводим его к Богу» [12, с. 360]. Как приверженец Белой Идеи и православный христианин, Ильин видел «больные и извращенные формы национального чувства» в сознании народа, находя в последнем стремление жить неглавным и утверждать свою культуру при отрицании чужой.

Проблемам родины, ее обретению патриотизма, национального воспитания и соблазна интернационализма, присущих большевизму, Ильина придавал особое значение [20]. Именно в здоровом национализме и истинной любви к родине автор видел залог возрождения России. Зная, что значительная часть населения в СССР к 30-м годам оставалась верующей, государство проводило варварскую конфессиональную политику, деформируя общество

преследованием церкви как социального института. По коммунистическим источникам Ильин проследил борьбу государства против религии. Коммунистам «пришлось все-таки признать, что слишком кровавое, бурное и кощунственное наступление на церковь, веру и святыни не только благоприятствовало атеизму, а имело прямо противоположный результат. <...> Для народа, подкупленного коммунистической демагогией и соблазненного к экспроприации имущих, настала эпоха постепенного осознания и отрезвления; разрыв между менталитетом коммунистов и народной души все больше увеличивался» [21, с. 233]. Однако систематический гонения на Церковь и верующих привели к некоторому однородному обществу в отношении религии как социального регулятора. Задача создания целой социальной группы со своими взглядами на мир, по мнению Ильина, зловеще осуществилась. «Но самое главное заключается в том, чтобы сформировать, взрастить новое, целиком безбожное поколение. И это коммунистам отчасти удалось» [21, с. 241]. Используя насилие и пропаганду, другие возможные средства, государство через тотальную социальную политику борется с теми, кто еще не стал лоялен к режиму, не стал конформистом к своему окружению и не перестал верить в Бога. Подробно останавливаясь на этих вопросах, Ильин показывает «истинные» права в СССР и их закрепление в обществе: «Те, кто еще не арестован, названы по закону лишенными прав. У них нет права на квартиру, на работу, на образование детей. Кто-то из них кормится сапожным мастерством, кто-то милостыней. На городских улицах можно увидеть изможденные фигуры священников. Стоя в лохмотьях на лютom морозе, до 25 по Реомюру, с посиневшими лицами и отстраненным взором они возносят молитвы за народ и за преследующих их врагов» [22].

Аналогичную политику, считает Ильин, государство проводит в области демографии, сокращая национальную Россию «и количественно и качественно» по разным причинам (террор, голод, эмиграция и т.д.) [12, с. 143-149]. К социальным правам относится возможность защищать свои интересы в рамках законов существующего строя. Но, как показано ранее, в условиях тоталитарного государства Ильиным отвергается эта возможность, что отражается в обществе как ущемление их прав. Хотя построение социализма и было неслыханной реализацией «интересов», то октябрьская революция 1917 г. была нарушением законов российской империи. Несмотря на органическую связь советского общества с дореволюционными и революционными недугами и его стабильность, Ильин видел неизбежность краха социализма и возрождения России. В чем тогда слабость системы в СССР, какие пути оздоровления ее и движущие силы, с точки зрения Ильина? Непокколебимая вера Ильина в обновление России отражена в ряде работ на эту тему.

Можно выделить три условия, неизбежное выполнение которых, по Ильину, приведет к преодолению большевизма. «Обновление России придет только тогда, когда спаивающая сила преступления и принуждающая сила страха начнут изживаться и слабеть. <...> Массы могут быть доведены до глубокого, беспросветного отчаяния – до переутомления и истощения, до полного разочарования, апатии и протрации; до готовности на все, до согласия потерять все «завоевание революции»; до проклятий этим «завоеваниям»; до готовности умирать и убивать ради прекращения революции и ради ликвидации этих завоеваний» [23, с. 139-140]. Внутреннее изживание социализма, противоречащий природной сущности человека, есть лишь предпосылка для обновления России. Ильин указывал на глубокие корни большевизма, унаследованные от мирового кризиса религиозности и правосознания. По мнению Ильина, только «пробуждение здорового инстинкта» может преодолеть аморальность и утопизм большевизма. «Должна с одной стороны измениться внутренняя установка человеческих душ – умение находить свое в предметном и всеобщем и гасить в своем противопредметное противосоциальное. <...> С другой стороны, это возрождение здоровых духовных глубин религиозности и правосознания у меньшинства – и притом у ведущего меньшинства должно породить новые формы солидаризации в человеческом обществе, новые установления и учреждения <...>» [23, с. 145-146].

Поэтому Ильин считал: неотвратимым изживание античеловеческой направленности

режима в СССР; путь оздоровления России через перерождение душ и создание новых учреждений; а движущие силы ее обновления – прозревшее духом меньшинство. На комплексный и глубокий процесс возрождения России, намеченный Ильиным, верно указывал Полторацкий, акцентируя внимание на недостаточности «простого» изживания социализма. «Но свержение большевистско-коммунистической власти есть лишь предварительная, отрицательная задача. Нужно не только устранить коммунистический режим, но и возродить религиозность и правосознание и создать новые, справедливые установления и учреждения» [4, с. 430]. Пути возрождения России рассматриваются Ильиным и в других работах. Особое место среди них занимает подытоживающий труд «Наши задачи», где автор раскрывает конкретные аспекты преодоления большевизма, в том числе в социально-экономической сфере. Естественное развитие, прерванное социализмом, по Ильину, вновь утвердит национальный лик России. «Эти годы насилия и стыда не пройдут даром: нельзя народному организму «запретить здоровье», – он прорвется к нему любой ценой; нельзя погасить в народе чувство собственного духовного достоинства, – эти попытки только пробудят его к новому осознанию и новой силе» [12, с. 360]. Восстановление органических основ жизни неизбежно ослабит политический режим в СССР.

Осуществление этой задачи «будет состоять в выделении кверху лучших людей, – людей, преданных России, национально чувствующих, государственно мыслящих, волевых, идейно-творческих, несущих народу не месть и не распад, а дух освобождения, справедливости и сверхклассового единения» [12, с. 265]. Отбор, состав и качество нового ведущего слоя согласуются с приведенной ранее идеей Ильина о ранге.

Положительной задачей на пути оздоровления России Ильин считал воспитание в каждом гражданине «нового русского человека», который должен научиться верить по-новому, не разделять веру и знание, новой нравственности, воспитать в себе новое правосознание, чувство собственности и хозяйственный акт [12, с. 162-163]. Поэтому обновление социально-экономического строя советского общества Ильин видел прежде всего в духовном самовоспитании человека.

Но Ильин добавлял, что воспитание человечества не может заменить практических действий по созданию таких учреждений и установлений, где возможны только «ответственные патриоты», а не «подлецы». «И вот задача государственного прозревшего меньшинства состоит в том, чтобы понять это и, не ожидая глубинно-духовного возрождения и обновления человечества, – искоренить большевиков и воззвать новыми учреждениями к антибольшевику в душах» [23]. Обширный анализ Полторацкого, раскрывающий путь преодоления большевизма, с точки зрения Ильина, заслуживает высокой оценки. Однако сомнительны степень и сроки пути оздоровления России, идеализируется реальный процесс глубоких преобразований, намеченных Ильиным. «Правильность этого пути теперь постепенно подтверждается. Хотя и медленно, но в России зреет обновление духа. <...> В бесконечных страданиях и унижениях в русском народе всегда нарождался и закалялся также и новый дух – религиозный, нравственный и государственный. Этим духом и возродится Россия» [11, с. 468-469]. Это мнение 1988 г. Полторацкий проживал в это время за рубежом и мог не знать истинного положения в России.

Ильиным разработаны также основные положения для выхода их современного российского мирового кризиса. Для социально-экономического строя к ним относятся вопросы прежде всего права и частной собственности: «чувство собственного духовного достоинства, способность к самообязыванию и самоуправлению и взаимное уважение и доверие людей друг к другу. Эти аксиомы учат человека самостоянию, свободе, совместности, взаимности и солидарности. И прежде всего, и больше всего – духовной воле» [24]; «Это значит взрастить в человеке христиански-социальное понимание частной собственности. «Спасителен» не социализм, а творческое сочетание свободы, всенародного братства и справедливости» [25]. Это подтверждает, что для обновления России Ильин указывал именно на духовное воспитание здорового правосознания (права) и верного инстинкта самосохранения в «хозяйственном

акте» (частная собственность). Общая оценка «аксиом» Ильина по социально-экономическим вопросам при переходе «от современности к будущему» дана Полторацким в его итоговой работе по наследию Ильина [26]. Так Ильин раскрывает слабость системы в СССР, пути ее оздоровления и движущие силы обновления России.

В целом, управление социально-экономической сферой советского общества, по взглядам Ильина, имеет следующие характеристики. Существовала преемственность мировых, дореволюционных и революционных недугов в новом социальном обществе. В результате насилия при экспроприации частной собственности и на производстве в условиях коллективных форм труда произошло ущемление личной инициативы и отчуждение от работы. Образовалось государство-монополист, которое централизовано планирует и контролирует производство, распределение и потребление продукции. Следствием такой организации экономики страны стали всеобщая отсталость и нищета от произвола и безответственности, несмотря на перенапряжение сил народа в работе, лживые показные «успехи» и оправдания трудностей «вредительством классовых врагов». Но главный показатель, считал Ильин – искажение здорового «хозяйственного акта». С экономическим строем связана классовая социальная структура общества, в которую каждый человек принудительно входит через различные организации. При этом Ильин находил в СССР: отсутствие прав и живой социальности в национальной, конфессиональной и демографической политике государства. Основой закрепления новой асоциальности, он полагал, является утрата верного «чувства ранга», когда худшие люди занимают ведущее положение в обществе. Тем не менее, Ильин видел возрождение России через изживание социализма, духовное воспитание и «выделение кверху лучших людей».

Итак, анализ источников и литературы позволяет свести воедино взгляды Ильина на управление советским обществом в различных сферах жизни, которое имело преемственность от мировых, дореволюционных и революционных недугов. Для социально-экономического строя СССР характерно искажение здорового «хозяйственного акта» и «чувства ранга» при насилии государства-монополиста. Незаинтересованность в работе приводит к скудному существованию основной массы населения. Это связано с отсутствием прав и живой социальности, когда над человеком господствуют коллективы в классовой структуре общества. Ильин говорил о неизбежности возрождения России на путях изживания социализма, духовного воспитания при христианизации культуры, выделения кверху лучших людей – внутри страны и верной борьбы с большевизмом русской эмиграции. Поэтому главный итог работы можно кратко сформулировать так: сущность советского общества, по Ильину, заключается в «болезни» «хозяйственного акта», «ранга», правосознания, морали, а путь возрождения России – прежде всего духовное воспитание. Очевидно единство характеристик, данное Ильиным различным сферам жизни советского общества. «Хозяйственный акт», «ранг», правосознание и мораль объединяет принадлежность к внутреннему миру человека. А значит их «оздоровление» может быть только через духовное воспитание, на что указывал Ильин. В этом целостность подхода философа для раскрытия внутренней сущности как советского общества, так и пути его возрождения.

Убежденный сторонник монархии и православной культуры, Ильин, как мы считаем, допустил некоторое искажение объективности жизни советского общества. В его взглядах явно преобладает преувеличение отрицательных сторон социализма в СССР. Хотя Ильин и различал «полуживотных» коммунистов у власти и обманутый, поработанный русский народ, но указанные недуги относил ко всему советскому обществу. Имеет место идеализация Ильиным дореволюционной России, эволюционно преодолевающей свои «затруднения». Однако он не раз показывал преемственность «больных» черт из дореволюционной России в общественную жизнь в СССР.

Итак, гиперболизация Ильиным негативных сторон жизни в СССР вызывает сомнение в объективности сообщаемых им фактов. Но опора Ильина на достоверные источники и лично пережитый опыт не снижает общей значимости его субъективной позиции на сущность советского общества. Ильин не рассматривал природный фактор в жизни советского общества, что стало пробелом в раскрытии этого важного компонента в деятельности людей. Проанализированные характеристики общества в СССР в экономике и социальных отношениях нуждаются в большей разработанности по разным аспектам. Также Ильиным преувеличены естественное «изживание социализма» при длительном существовании стабильного общества, конкретная реализация «духовного воспитания» через христианизацию культуры, возможности влияния русской эмиграции и мировой общественности на СССР. Однако для преодоления недугов России одни положения Ильина заслуживают пристального внимания, другие уже реализовались на практике, что придает ценность его взглядам.

### Библиографический список

1. **Полторацкий, Н.П.** Иван Александрович Ильин. Жизнь, труды, мировоззрение / Н.П. Полторацкий // Ильин И.А. Собр. соч.: Кто мы? О революции. О религиозном кризисе наших дней. – М.: Русская книга, 2001. С. 243-477.
2. **Лисица, Ю.Т.** И.А. Ильин. Историко-биографический очерк / Ю.Т. Лисица // Ильин И.А. Собр. соч.: В 10 т. Т.1. – М.: Русская книга, 1996. С. 5-36
3. **Ильин, И.А.** О революции / И.А. Ильин // Собр. соч.: Кто мы?...
4. **Полторацкий, Н.П.** Записи И.А. Ильина о русской революции и большевизме / Н.П. Полторацкий // Ильин И.А. Собр. соч.: Кто мы? О революции. О религиозном кризисе наших дней. – М.: Русская книга, 2001. С. 396-433.
5. **Ильин, И.А.** Коммунизм и мировой порядок / И.А. Ильин // Собр. соч.: В 10 т. Т.7. М.: Русская книга, 1998. С. 200.
6. **Ильин, И.А.** Коммунизм или частная собственность? Постановка проблемы. Т.7. С. 73.
7. **Ильин, И.А.** Путь духовного обновления. Т.1. Гл.10: О частной собственности. С. 272.
8. **Ильин, И.А.** Отчуждение собственности в России и его мировое значение / И.А. Ильин // Собр. соч.: Статьи. Лекции. Выступления. Рецензии (1906-1954). М.: Русская книга, 2001. С.345.
9. **Ильин, И.А.** Крушение социализма / И.А. Ильин // Собр. соч.: Статьи. Лекции. Выступления. Рецензии (1906-1954). М.: Русская книга, 2001. С. 420-421.
10. **Ильин, И.А.** Христианство и большевизм. Т.7. С. 291.
11. **Полторацкий, Н.П.** И.А. Ильин – проповедник русского духовно-национального возрождения / Н.П. Полторацкий // Собр.соч.: Кто мы?.. С. 446-469.
12. **Ильин, И.А.** Наши задачи. Статьи 1948-1954 гг. / И.А. Ильин // Собр.соч.: В 10 т. Т.2. Кн.1. М.: Русская книга, 1993. – 496 с.
13. **Ильин, И.А.** Основы борьбы за национальную Россию / И.А. Ильин // Собр.соч.: В 10 т. Т.9-10. М.: Русская книга, 1999. Гл.9: Сущность большевизма. С. 348-349.
14. **Ильин, И.А.** Наши задачи. Статьи 1948-1954 гг. / И.А. Ильин // Собр.соч.: В 10 т. Т.2. Кн.2. М.: Русская книга, 1993. – 480 с.
15. **Полторацкий, Н.П.** Монархия и республика в восприятии И.А. Ильина / Н.П. Полторацкий // Собр.соч.: Кто мы?.. С. 495.
16. **Ильин, И.А.** Большевицкая политика мирового господства. Планы III Интернационала по революционизированию мира / И.А. Ильин // Собр.соч.: В 10 т. Т.8. М.: Русская книга, 1998. С. 62-63.
17. **Ильин, И.А.** Яд. Дух и сущность большевизма. Т.7. С. 161.
18. **Ильин, И.А.** Возникновение большевизма из духовного кризиса современности. Т. 7. С. 128.
19. **Ильин, И.А.** Коммунизм и мировой порядок. С. 214.
20. **Ильин, И.А.** Путь духовного обновления. Гл.6: О родине, Гл.7: О национализме. С. 168-217.
21. **Ильин, И.А.** Против безбожия. Т.7.
22. **Ильин, И.А.** Мученичество церкви в России. Т.7. С. 280.
23. **Ильин, И.А.** О революции.



24. **Ильин, И.А.** О сущности правосознания / И.А. Ильин // Собр. соч.: В 10 т. Т.4. М.: Русская книга, 1994. С. 231.
25. **Ильин, И.А.** Основы борьбы ... С. 384.
26. **Полторацкий, Н.П.** Идеиное наследие И.А. Ильина и современность [Текст] / Н.П. Полторацкий // Собр. соч.: Кто мы?... С. 472-473.

*Дата поступления  
в редакцию 12.12.2013*

**A.V. Bagaev**

## **I.A. ILYIN ABOUT SOCIAL–ECONOMIC STEERING IN SOVIET SOCIETY**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The author turns to the barely studied aspects of the philosophical heritage of Great Russian thinker I.A. Ilyin.

**Design/methodology/approach:** The theoretical-methodological base of paper is I.A. Ilyin's works and researches, containing critical analysis of his ideas.

**Findings:** Main deficiencies of Soviet economy are revealed by means of I.A. Ilyin's works analysis. His point of view is of great interest now, because many steering practices of Soviet period have been reanimated now.

**Research limitations/implications:** The subject of scientific investigation is relation between the economic steering and society as necessary development element of the system «society – culture – nature».

**Originality/value:** It is of great importance to have knowledge about possible problems of the social-economic steering during transitive period. I.A. Ilyin's point of view is insufficiently understood and researched.

*Key words:* social philosophy, history philosophy, sovetology, Russia research, farm ethics, economic axiology, spiritual aspects of economy life.

УДК 304.444

И.А. Шелеп

**СОБЫТИЙНЫЕ ПАРАДИГМЫ ПРОДВИЖЕНИЯ:  
ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Темой статьи является исследование основных подходов к феномену событийности в продвижении. Тема является актуальной уже потому, что многие современные способы продвижения – такие, как, например, PR или «вирусный маркетинг» – являются событийными по своей сути. В условиях современного информационного общества прорваться в сознание целевой аудитории возможно лишь при условии создания сильного «событийного контента». Побеждает тот, кто предлагает более отчётливое событийное позиционирование. Однако при всей важности практического использования категории «событие», концептуальное понимание этого феномена явно недостаточно. Предлагаемый материал в известной степени восполняет этот пробел. Новизна статьи в том, что здесь впервые сделана попытка рассмотрения события с различных точек зрения, дать многомерное, многофакторное описание – пусть и достаточно краткое – продвигающего события как феномена социального бытия.

*Ключевые слова:* событие, норма, девиация, сильное воздействие, контекст, контраст, артефакт, новость, конфликт.

**Проблематика определения понятия «событие»**

Современное продвижение насквозь событийно. Наибольшие шансы прорваться через плотные слои «информационного шума (смога)» имеют сообщения, обладающие максимально выраженным качеством, которое можно обозначить как «потенциал событийности». При этом всякое событие можно рассматривать с совершенно различных точек зрения.

Подробный разбор термина «событие» – тема другой статьи; здесь же можно сказать несколько слов об обыденном восприятии этого слова.

В последние несколько лет таким отражением «обыденного восприятия» может служить «Википедия», своеобразная «народная энциклопедия» наших дней.

В статье про «событие» говорится: «событие – то, что имеет место, происходит, наступает в произвольной точке пространства-времени; значительное происшествие, явление или иная деятельность как факт общественной или личной жизни; подмножество исходов эксперимента [1]. Во-первых, в определении отсутствует субъект («событие – то, что...»); во-вторых, отсутствуют критерии «значительности»; в-третьих, очевидна логическая неряшливость – проблема многих формулировок, и далеко не только в «Википедии». Почти все известные российские словари дают такое определение рассматриваемого термина, которое очень мало проясняет существо дела, и чаще всего через ту же конструкцию «то, что»: по Т.Ф. Ефремовой, событие – «то, что произошло, случилось; явление, факт личной или общественной жизни; то, что является важным, значимым фактом»; по С.И. Ожегову и Н.Ю. Шведовой – «то, что произошло, то или иное значительное явление, факт общественной, личной жизни»; по Д.Н. Ушакову – «то, что случилось, происшествие; важное явление, крупный факт, происшедший в общественной или личной жизни» [2].

В одной из публикаций автора дано следующее определение: событие – резкая перемена, случившаяся с человеком (группой людей, организацией) или свидетелем которой он стал, связанная с деятельностью самого человека, других людей или с воздействием природных/техногенных сил. Результат события – обретение/потеря жизни, здоровья, имущества, социального статуса, психологического комфорта [3].

Новизна подхода настоящего материала в принципиальном отказе от «единственно верного» подхода к определению понятия «событие»; далее, от «определения-комбайна», включающего в себя все возможные грани понятия.

Смысл выделения каждого из нижеприведённых подходов заключается в том, что выделяются, вербализуются те или иные грани, ракурсы всякой событийности. Таким образом, речь идёт не о разных событиях (не о разных типах событий), но о различных подходах, способах рассмотрения *одного и того же* события. Здесь существенно следующее: во-первых, список носит предварительный характер, он не претендует на полноту и логическую выверенность. Во-вторых, он не полон принципиально – в том смысле, что, в сущности, мы можем выделить бесконечное множество таких событийных граней – дело лишь в целесообразности того или иного выделения с практической точки зрения. Соответственно сказанному, мы получаем множество взаимодополняющих определений понятия «событие», не претендующих на полноту, но высвечивающих нечто, присущее рассматриваемому феномену. Таким образом, используется своеобразным образом хорошо известный в физике «принцип дополнительности»; правда, в отличие от квантовой механики, в данном случае постулируется применение не двух, а множества (в принципе, бесконечного) наборов концепций, которые не исключают, а именно дополняют друг друга.

С точки зрения продвижения важно то, что практически всегда речь идёт время об *искусственных* событиях. Они представляют собой то, что в PR-литературе определяют терминами «специальное событие», «псевдособытие», «искусственное событие», «PR-событие». Разумеется, это не вполне тождественные понятия, тем не менее, объединяет их одно: во всех случаях за ними стоит не случай, а целенаправленная работа специалистов по событийному продвижению. Исключение составляет класс событий, который известен PR-специалист А.Ю. Вуйма определяет как «присоединённые события»: использование энергетики, инерции событий, созданных другими людьми, вышедшей из под контроля техники или природной стихии.

Мы можем разделить все эти «искусственные события» на три группы.

- Те, искусственный характер которых очевиден для целевых аудиторий (выставка, презентация, торжественное открытие). Правда, если источник самого события очевиден, то источник *сообщения* о нём (PR-службы или сами СМИ) – нет. Соответственно, PR-деятельность в этом случае сводится к процедуре превращения этого типа события в новость в СМИ.
- Завуалированное событийное продвижение. Это те разновидности продвижения, которые вызывают интерес, о которых сообщают СМИ, но которые не воспринимаются целевыми аудиториями как кем-то придуманные и срежиссированные события. Они должны представляться «естественными», не имеющими никакого отношения к сфере продвижения.
- Неочевидные события – например, интервью (речь идёт о тех из них, которые носят характер журналистского, а не «имиджевого интервью»).

### Событие как девиация

В данном случае, как и во всех остальных в предлагаемой статье, даются короткие определения понятия «событие» в пределах того или иного подхода. Они высвечивают лишь одну грань и не претендуют на полноту; это не «логические понятийные комбайны».

Первый из способов рассмотрения события как отклонения от нормы; это – нормативно-девиантный подход. Он представляет собой такое видение событийности, которое определяется пристальным вниманием к поиску каких угодно существующих в данном обществе норм, привычек, стереотипов. Событие мыслится как выход за пределы общепринятого – или, по крайней мере, обыденного. Эта интеллектуально-деятельностная конструкция возникла и работает в обществе современного западного типа, совершенно не работает в патриархальных обществах (более того, преследуется, вплоть до санкционированного самим государством преследования, включающего убийство; примером тому может служить знаменитая в своё время история с романом Салмана Рушди «Сатанинские стихи», после опубликования которого Рушди был публично проклят аяталлой Хомейни и приговорён к смер-

ной казни). Можно сказать, что традиционное общество не терпит выхода за грань дозволенного, так что существует самая тесная связь публичной демонстративной событийности и толерантности [4].

Пример событийной девиации, которая, тем не менее, носит перманентный характер – публичное поведение Ксении Собчак или В.В. Жириновского, своеобразная «ожидаемая неожиданность».

В гуманитарной мысли ближе всего к рассматриваемому подходу концепция *деконструкции*, введённое в оборот Жаком Лаканом и развитое затем Жаком Деррида.

Вполне пересекается интерес событийного девиативного продвижения с концепцией деконструкции к маргинальному, периферийному, локальному, к разрушению существующих ожиданий, дестабилизации и изменению статуса традиционных ценностей. Различие в том, что если в результате этих процессов «деконструкция выявляет теоретические понятия, уже существующие в скрытом виде» [5], то есть интерес вполне теоретический, научно-философский, то интерес событийного продвижения – исключительно практичен. Смысл подобной работы здесь – выявление тех ещё нетронутых «дестереотипизацией» ниш «общественного сознания», которые можно заполнить, фактически опровергнув их незыблемость.

Если основными объектами деконструкции являются, прежде всего, знак, далее речь, текст и контекст и т.д., то для событийной «дестереотипизации» таковыми, в первую очередь, служат *ценности*. Событийная девиативная практика в первую очередь имеет дело с разрушением привычных ценностных восприятий.

В продвижении, при создании событий, можно выделить специфическую проблематику *пределов* разрушения, к таким пределам можно отнести смерть (убийство), здоровье (причинение ущерба здоровью отдельному человеку или сообществам людей) и, очевидным образом, закон. Мораль к таким «пределам» не относится принципиально – однако это утверждение имеет смысл лишь в обществе западного типа. Уже в России (а не только в Иране или Саудовской Аравии) угроза самого серьёзного преследования за такие нарушения весьма реальна – что подтвердила самая знаменитая событийная российская история 2012 года с Pussy Riot.

Итак, нормы и пределы нарушения; между ними – вся проблематика событийности.

Творцы (заказчики и исполнители) терактов нарушают все три табу событийности. Однако это, во-первых, своеобразный «*terrible PR*», «PR ужаса» (на ужасе); во-вторых, в случае террористов речь не идёт о коммерческих продажах – «продажи» есть, но они носят совершенно иной характер.

Крайне негативную оценку современной практике событийной девиации даёт С.Г. Кара-Мурза в своей объёмной работе «Манипуляция сознанием» [6].

Второй ключевой проблемой *public relations*, кроме упомянутой проблемы границ, является то, что позитивная событийная девиация встречается гораздо реже и носит намного менее резонансный характер, чем негативная.

Возможности использования данной парадигмы событийного продвижения заключаются в отслеживании (создании) *отклонения* от нормы. На этапе поиска идёт перебор всех мыслимых вариантов отклонения; затем – последовательно убираются варианты, связанные с негативным позиционированием. Наконец, оставшиеся возможности рассматриваются как отдельно, так и во всех возможных комбинациях. Нижняя рамка – выход за пределы *нормы*; верхняя – *закона*. На пути между первым и вторым практически обязательно возникает необходимость балансировать на грани «общественных приличий» или даже выходить за эту грань. Современные способы воздействия очень часто основаны на сверхсильных стимулах, связанных с массовой гибелью людей, вышеупомянутым терроризмом.

С технической точки зрения речь идёт о том, что на начальном этапе мы порождаем максимально возможное количество различных вариантов каких угодно выходов за пределы социальных норм, не присваивая им знака (плюс или минус), или ярлыка (хорошо / плохо, конструктивное / деструктивное, позитивное / негативное и т.д.).

На втором этапе оставляются те из вариантов, которые могут быть использованы напрямую или после прохождения процедуры рефреймирования. Эта тема – рефрейминга – детально освещена в литературе по NLP, прежде всего в одной из ранних книг этого направления в психотехнике, «Рефрейминг» Ричарда Бэнндлера и Джона Гриндера [7].

Затем составляем, где это возможно, событийные комбинации (комплексы). Примеры таких событийных комплексов мы можем найти в третьей части книги «Уши машут ослом. Современное социальное программирование» [8].

Этот подход своим слабым местом имеет то, что он нацеливает тех, кто его исповедует, на поиск негатива или эпатажа, ибо именно они являются девиациями по своей природе, или связаны с проявлением девиантности.

### Событие как сильное воздействие

Данная модель основана на идее того, что важна сила воздействия. Событие – обязательно сильное воздействие. Но сильное воздействие – обязательно событие. Эта концепция коррелирует с предыдущей; специалист в сфере продвижения в данном случае нацелен на поиск всех вариантов сильных воздействий.

Определение события теперь выглядит уже иначе, чем в первом случае: событие – всякое сильное воздействие любой природы (людей, природных или техногенных факторов) на человека или группу людей. При этом сила воздействия определяется трансформирующим эффектом: нечто, что произошло или могло произойти, связано физическими (материальными), эмоциональными (душевными), ментальными (мировоззренческими) изменениями. Р.Р. Попова пишет: «Важной характеристикой категории «событие» выступает параметр *изменения*, включающий в себя изменение состояний через проявление объектом некоторого свойства во времени ( $Ch$  за  $\Delta t$ ) либо изменение количества и качества объектов, свойств и отношений. В частности, Г.Ф. фон Райт определяет событие как отношение между двумя состояниями дел определенного вида, при котором последующее состояние является отрицанием предыдущего» [9].

Изменения сводятся к обретениям или потерям. Отличительный признак сильных воздействий – необратимость перемен в результате этих воздействий. То есть событие как воздействие ведёт к изменениям; сильное воздействие – к необратимым изменениям.

В связи с этим применительно к сфере продвижения возникает вопрос: что такое «сильное воздействие в продвижении?» И что вообще в этой области деятельности такого, что можно необратимо изменить? Собственно говоря, это вопрос не риторический, но чисто технологический, сугубо профессиональный.

В отличие от первого, данный подход нацеливает на поиск любых сильных воздействий; никаких ограничений по критерию большего или меньшего отступления от норм, или использования именно событийных форм продвижения, здесь нет. Сила воздействия не связана со знаком – поэтому мы можем искать как негативные, так и позитивные сильные воздействия – не ограничивая себя рамками собственно событийности и любой событийной формы продвижения (PR, life placement, пресс-конференция или некий комплекс, комбинация любых способов, отвечающая критерию максимальной силы).

Многочисленные примеры сильных событийных воздействий содержит книга А. Альпеншталя «Sex Sells! Реклама, которая дает сверхприбыли» [10].

Ограничения подхода связаны с тем, что достаточно узкий спектр поиска – мы ищем лишь потенциально сильные воздействия.

### Событие как «текст в контексте»

Суть этой событийной парадигмы заключается в поиске контекста, «фона». Если использовать хорошо известное в гештальтпсихологии отношение фигуры и фона, то «фигурой» является событие; «фоном» при этом могут быть абсолютно любые культурные, политические и т.п. реалии. Наибольшее значение имеют те из них, которые значимы для целе-

вых аудиторий организуемых событий. В «чистом виде» этот подход не инструментален – однако в связке с предыдущими мы можем начать исследование того, что может быть упущено: фактора (как единого целого) или факторов (по отдельности, выделяя их независимо друг от друга) внешней среды.

В данном случае событие никогда не задумывается в отрыве от социальных, ментальных, ситуационных – каких угодно – контекстов. То, что вне контекста не имеет никакого звучания, при определённом вписании его в тот или иной контекст может получить самый широкий резонанс. Именно социально-исторический и культурный контекст сделал широко известными и вошедшими в историю фразы – как, например, «У меня есть мечта» (Мартин Лютер Кинг) или «Шоу должно продолжаться» (Кэтрин Хэпберн). Эти слова, ставшие легендой, были сказаны «правильным человеком в правильное время в правильном месте». Соответственно, применение этого подхода предполагает то, что можно обозначить как «глубокое контекстуальное социальное знание».

Контекстуальная событийная парадигма – «добавочная», усиливающая возможные решения; тем не менее, значимость и ценность её очень велики.

В последнее время на западе (и в гораздо меньшей степени в России) приобрёл широкую популярность подход в духе «контекстуальной событийности» – ньюсджекинг (англ. *newsjacking*). Речь идёт о технологичном, обширном поиске продвигающей организацией любых идей, новостей, трендов, которые можно было бы использовать для продвижения бренда. Как сказано в одной из популярных статей по ньюсджекингу, это – «процесс интеграции бренда и идей в актуальный новостной фон» [11]. Тот же автор пишет в другом своём материале: «В мире постоянно происходят какие-то важные события. Некоторые из них имеют отношение к сфере деятельности вашего бизнеса. Другие связаны с отраслями, смежными с вашей. Конечно, многие события вообще не имеют отношения к вашей компании и области ее работы. Но все они могут сослужить вам хорошую маркетинговую службу, если вы умеете пользоваться ньюсджекингом – одним из наиболее эффективных инструментов контент-маркетинга. <...> Считайте себя настоящим ньюсджекером, <...> если умеете использовать актуальные новостные тренды в своих маркетинговых целях. Актуальный новостной фон можно найти для каждого бизнеса. Вопрос заключается только в том, как его искать и как использовать» [12].

### **Событие как «контраст контексту»**

Контекстуальный и данный подходы – принципиально разные: «событие как контраст» предполагает нацеленность на поиск контрастности; «событие как происшествие в контексте» – поиск подходящих контекстов, в том числе и задним числом, постфактум. В отличие от предыдущего специалист по продвигающим событиям ищет не контекст, а «контраст контексту». Однако на практике, чаще всего, контрастом оказывается нечто деструктивное. Один из самых известных примеров подобного событийного «контрастного действия» в 2013 году может служить теракт 15 апреля во время Бостонского «Марафона мира». В целом для негативного контекста находится позитивный контраст, и наоборот.

Возможности этой модели событийности – в самой сути подхода, в поиске контекстуальной контрастности. Ограничения – в полной зависимости от события и фона, в поиске одной лишь контрастности.

### **Событие как социальная игра**

Для создания событийности необходимы участники, «действующие лица и исполнители». В этом смысле всякое событие – всегда социальная игра.

Типология социальных игр: межличностные, микроуровня – у Бёрна, и масштабные, макроуровня – «терроризм».

Социальная игра на макроуровне характеризуется практически теми же чертами, которые, по Эрику Бёрну, описывают игры микроуровня [13]. В игре, в частности, есть скрытая

часть, правила, нарушение которых разрушает игру, деструктивное поведение одной из сторон ради достижения своих целей, саморазрушительное соучастие второй стороны как часть виктимной стратегии. Среди важнейших правил игры – «правило демонстрационности», обязывающее участника игры максимально драматизировать любую ситуацию и создавать (или демонстрировать) «событийную начинку».

Мега-игры, используемые современным обществом, исследованиями Ги Дебора найден термин «общество спектакля». Специалисты в сфере продвижения, особенно в области public relations, как никто другой, принимают участие в его создании и усилении. Создание «спектакля», можно сказать, сама суть PR-профессии.

Возможности модели связаны с изучением принципов, правил, норм социальных игр, генерированием решений, основанных на знании игрового потенциала событийности. Соответственно, все недостатки – продолжение достоинств: приверженность этому подходу нацеливает на то, чтобы видеть в всём «игру». А игру, в свою очередь, рассматривать как комплекс событийности.

### Событие как рассказ

Без рассказа о событии события нет. Даже если человек один, и с ним что-то произошло, он практически сразу начинает мысленно рассказывать кому-либо о случившемся. Феномен забывания связан с тем, что процесс этого мысленного рассказывания или не состоялся по каким-то причинам, или был прерван, или свёрнут, редуцирован до такой степени, что в памяти не сохранилось достаточного количества «опорных точек» для развёртывания «конспекта» в полноценный рассказ. Происшествие было, но событием оно не стало. Следовательно, событие при таком понимании создаётся дважды: когда нечто происходит, и когда о нём рассказывает заинтересованное лицо.

Таким образом, суть этой модели заключается в том, что событие изначально, ещё до его проведения, рассматривается как рассказ. С одной стороны, речь идёт о генерировании вполне внятного критерия проверки степени событийности чего бы то ни было: если об этом нельзя кратко или подробно сделать рассказ – это или не событие вообще, или слабое событие. Но дело даже не в этом – сама по себе форма рассмотрения события как рассказа позволяет создавать изначально, этап за этапом, именно такое событие, которое, будучи рассказанным, окажется интересным целевым аудиториям.

Именно этот подход делает нам особенно интересными и полезными, практически значимыми книги про сценарное и режиссёрское мастерство – в первую очередь это можно отнести к работам А. Митты «Кино между раем и адом» [14] и Р. Макки «История на миллион долларов» [15].

Что бы ни случилось – это не событие, пока не было рассказа о произошедшем хотя бы одному человеку, хотя бы себе самому. Событие – то, что случилось не с одним человеком.

Возможности связаны с раскрытием потенциала и значения *рассказа* о чём бы то ни было, утверждением «презентационного способа мышления». Ограничения – с преувеличением роли рассказа о событии над самим событием.

### Событие как «память в артефактах»

Данная модель является логическим продолжением предыдущей. Что бы ни случилось, какой бы субъективной силы происшествие не было, память о нём неизбежно стирается. В личной жизни вопрос сохранения или несохранения артефактов происшествия – дело субъективного выбора самого человека. Однако для целей продвижения необходимо использовать «якоря» (задействовать условные рефлексy) позитивного воспоминания, связанные с продвигающим событием.

Связь с предыдущей моделью заключается в том, что специфическим артефактом оказывается зафиксированное фото или видео изображение. Особенное значение имеет видеодокумент. Очень часто сама по себе простая видеорегистрация играет роль того самого

«рассказа», о котором шла речь в предыдущем пункте. Зачастую – когда это вызывает острый интерес – люди готовы просматривать видеоизображение снова и снова, иногда – десятки раз. Артефакт превращается в форму рассказа.

Очевидно, что в продвижении задача состоит именно в том, чтобы уметь создавать такой видео (или аудио) контент (если речь идёт именно об этой разновидности артефактов), который бы вызывал у потенциальной аудитории острый интерес и заставлял бы людей обращаться к нему снова и снова. *Это – специфический вариант рассказа – причём такой, который запрашивает снова и снова сам потребитель новостного сообщения.*

Модель связана с нацеливанием на стадии поисков событийной идеи, а затем синопсиса и сценария события, всех возможных ресурсов «вещного», материального сохранения памяти об этом событии. Поэтому необходимо организовать «вещную серию» артефактов, которые ценны для потребителя и сами по себе, так что ему должно захотеться их коллекционировать.

Кроме того, используя подход, можно изначально создавать «события под артефакты». Пример, пусть и крайне неудачный – размещение ролика «Pussy Riot» в сети Интернет уже после акции в Храме Христа Спасителя; правда, именно этот артефакт сделал более тяжёлой судьбу участниц проекта. Однако следует иметь в виду (и об этом говорилось ранее), что событийность всегда несёт с собой риски, особенно «провокационная событийность».

Как и некоторые другие из перечисленных здесь подходов, этот – вполне вторичный, он почти целиком определяется теми решениями, которые приняты в пределах, к примеру, «девиантного подхода». Вместе с тем, утверждать, что этот подход полностью вторичный, нельзя: использование его на стадии разработки события позволяет увидеть нечто важное в самом событии, что иначе увидеть сложно. Более того, подобный подход и вовсе может заставить изначально создавать «событие под артефакты», то есть постоянно держать в уме то, как будут через «вещи памяти» закрепляться все необходимые элементы и шаги события. Итогом всего процесса должно быть создание позитивных артефактов-якорей о продвигающем событии.

### Событие как процесс во времени

Ещё одна разновидность рассмотрения события – как растянутого во времени процесса. Этот подход тесно смыкается с предыдущим – но, в целом, они далеко не тождественны. Суть его заключается в том, что продвигающие события не являются локализованными во времени – они, как правило, растянуты: редко – на минуты (например, в случае флешмоба), гораздо чаще – на часы, а то на дни, недели и месяцы (конечно, интенсивность их распределена во времени). И это значит, что в дело вступают определённые законы восприятия. Самое важное – что чем дальше от точки начала события, тем в меньшей степени оно держит, привлекает внимание. «Фигура» превращается в «фон»; это же – одна из базовых проблем рекламы. После первого взрыва в московском метро был всеобщий шок; во второй раз люди отнеслись к произошедшему гораздо спокойнее.

Сказанное означает, что придумывая продвигающее событие, необходимо учитывать этот фактор растянутости его во времени, неизбежность быстрой утраты фактора новизны – и разработки *такого* сценария, который бы неотрывно удерживал бы «событийное внимание».

Зная особенности восприятия человеческой психики, мы легко можем заранее предсказать неизбежность снижения интереса к чему бы то ни было и, используя данный подход как критерий качества события, применяя его вместе с другими подходами (например, создавая событие как рассказ), мы получаем дополнительные преимущества в деле создания по-настоящему сильного события.

Как и в некоторых других предыдущих случаях, подход является добавочным, позволяющим усилить уже разработанные в пределах других подходов, решения.



### Событие как быстрое изменение качества

Основная идея модели в том, что всякое событие *по своей сути* – быстрое изменение во времени. Любая событийная трансформация в своей основе имеет какое-то одно основное изменение данного объекта живой или неживой природы. Если предыдущий подход нацеливает на поиск и обнаружение событийных «точек удержания внимания», то в данном случае речь идёт о, в принципе, прямо противоположной идее: необходимо вычленив саму суть изменения, не растворяя в мелочах и деталях. Это «базовое изменение» следует всё время держать в уме в тех случаях, когда событийный процесс растянут во времени – что можно отнести к использованию таких инструментов, как, например, праздник, конференция, выставка, юбилей.

Все возможности подхода связаны с поиском того, в чём состоит суть изменения в процессе делания события. То есть после завершения его должно остаться «в сухом остатке» нечто *одно*. Подход заставляет всё время держать в уме главное, фокусироваться на событийной сущности происходящего, видеть лес за деревьями.

Фиксация на базовом изменении отсекает всё то, что, во-первых, связано с побочными событийными моментами, обедняет событие, сужает рамки событийности. Во-вторых, потенциально длинное процессуальное событие здесь низводится до уровня вполне сжатого во времени, объём превращается в плоскость. Именно по этой причине предыдущая и данная модель должны использоваться в связке.

### Событие как новость

Этот подход заключается в том, что по отношению к любому событию мы задаём один и тот же полезный вопрос: «В чём новость?». И, далее – «В чём новостная ценность данного события для целевой аудитории?». Наконец, «С какими социальными ценностями сопрягается новость?». Здесь мы отчётливо разводим понятия «событие» и «новость». Всякая новость – событие, то есть это сообщение о событии, но не всякое событие – новость.

Новостной подход позволяет всегда заострять внимание творцов события на новостном его потенциале. В данном случае действует всё то же правило: равно как «недостатки – продолжение наших достоинств», ограничения связаны с возможностями: отсекаются все события, которые не могут стать новостями.

### Событие как конфликт

Это видение события сопрягается с процессуальным (событие как процесс) и нарративным (событие как рассказ). Смысл выделения этого подхода понятен: выделяется лишь та составная часть событийности, которая связана с конфликтом двух и более сторон. То есть из всего массива возможных событий вычлениваются лишь те из них, которые напрямую связаны с совершенно определённым типом коммуникаций. Здесь, в числе прочего, как частный случай конфликта, можно говорить об *антагонизме*, то есть об искусственном его создании.

Заостряя внимание на феномене конфликтности, борьбы, противоречия, антагонизма, мы, тем самым, можем резко повысить степень (уровень) интереса к событию и продвигаемому через него объекту продвижения.

Ограничение подхода заключается в исключительной нацеленности на поиск и провоцирование конфликтов. Кроме того, эта модель событийности формирует у её приверженцев соответствующий, остроконфликтный тип мышления.

### Событие как рождение нового

Речь идёт не обязательно о буквальном рождении чего-то нового. Это может быть просто взгляд, ракурс. Точка зрения, с которой видно нечто новое. В сущности, это всё тот же рефрейминг, его разновидность.

Смысл этой модели и, одновременно, её ресурсность, заключается в том, что рожде-

ние и смерть – самые сильные события в нашей жизни. Применительно к миру вещей исчезновение, уход привычного часто проходит незамеченным, этот факт как-то выделяют и отмечают достаточно редко. На нашей памяти незаметно ушли из обихода многие атрибуты века «высоких технологий» (начиная с дискет для компьютеров). В то же время появление нового в высшей степени приветствуется в современной культуре. Одними из наиболее ярких событийных символических акций рождения нового были его знаменитые презентации новых продуктов Apple. В гораздо менее яркой форме это можно видеть на примере ставших вполне шаблонными российских акций «Мы открылись!», которыми сопровождается практически каждое открытие нового магазина или фирмы по оказанию услуг. В более яркой, креативной форме этот подход используют апологеты «провокационного маркетинга».

У данного подхода, по сути, лишь одно ограничение – он нацеливает исключительно на поиск чего бы то ни было *нового*, связанного с продуктом, организацией или публичной личностью; он фиксирует в медиа пространстве (и, главное, в сознании потребителей) *факт* рождения *нового*. Но у этой модели нет никаких ограничений по форме, способу представления этого рождающегося или уже родившегося нового. Итак, речь идёт о нацеленности на своеобразные «Дни рождения» – чего бы то ни было, что должно внедряться в сознание потребителей.

### Событие как гибель

Наконец, мы можем рассматривать в качестве частного случая смерть как гибель, как трагедию – но в целях продвижения это вряд ли целесообразно. Поэтому гораздо лучше вариант с одновременным процессом «смерти-рождения (возрождения)». То есть исключительно одно лишь акцентирование внимания на исчезновении, как правило, нецелесообразно. Всегда оптимальна пара «исчезновение (старого) – появление (нового)».

При помощи этого подхода можно донести то, что обычно упускается – и, тем самым, выделиться на общем фоне. Вместе с тем, подход является сугубо вторичным – он почти целиком зависит от решения вопроса о появлении чего-то нового (кого-то нового) и направлении внимания на *контраст* между старым и новым. В начале сентября 2013 года именно этот подход был в максимальной степени отыгран А. Навальным и его командой на выборах мэра Москвы.

### Библиографический список

1. Событие [Электронный ресурс] // Режим доступа <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%B1%D1%8B%D1%82%D0%B8%D0%B5> (Дата обращения 23.11.2013).
2. Событие. [Электронный ресурс] // Режим доступа <http://poiskislov.com/word/%D1%81%D0%BE%D0%B1%D1%8B%D1%82%D0%B8%D0%B5/> (Дата обращения 23.11.2013).
3. **Шелеп, И.А.** Суть и базовая проблема событийности в public relations / И.А. Шелеп // Актуальные проблемы социальной коммуникации. Вторая международная научно-практическая конференция; НГТУ им. Р.А. Алексеева. – Н. Новгород, 2011. С. 51.
4. **Муртазин, А.** Салман Рушди меж двух цивилизаций [Электронный ресурс] / А. Муртазин // Режим доступа <http://ria.ru/analytics/20120619/676559173.html> (Дата обращения 23.11.2013).
5. **Ги Дебор.** Общество спектакля / Ги Дебор. – М.: Логос, 2001. – 184 с.
6. Деконструкция [Электронный ресурс] // Новая философская энциклопедия // Режим доступа <http://iph.ras.ru/elib/3645.html> (Дата обращения 23.11.2013).
7. **Кара-Мурза, С.Г.** Манипуляция сознанием / С.Г. Кара-Мурза. – М.: Эксмо, 2009. – 864 с.
8. **Бендлер, Р.** Рефрейминг: ориентация личности с помощью речевых стратегий / Р. Бендлер, Д. Гриндер. – Воронеж: НПО «МОДЭК», 1995. – 256 с.
9. **Гусев, Д.** Уши машут ослом. Современное социальное программирование / Д. Гусев, О. Матвейчев, Р. Хазеев, С. Чернаков. – Пермь: Alex J. Bakster group, 2002. – 192 с.
10. **Попова, Р.Р.** Проблема определения понятия «событие» в психологии / Р.Р. Попова // Филология и культура. ВЕСТНИК ТГПУ. 2011. №3(25). С. 288.

11. **Альпеншталь, А.** Sex Sells! Реклама, которая дает сверхприбыли / А. Альпеншталь. – М.: НТ Пресс, 2006. – 104 с.
12. **Дементий, Д.** Как использовать ньюсджекинг: 6 советов контент-маркетологам [Электронный ресурс] / Д. Дементий // Режим доступа <http://texterra.ru/blog/kak-ispolzovat-nyusdzheking-6-sovetov-kontent-marketologam.html> (Дата обращения 23.11.2013).
13. **Дементий, Д.** Практическое руководство по ньюсджекингу для контент-маркетологов [Электронный ресурс] / Д. Дементий // Режим доступа <http://texterra.ru/blog/prakticheskoe-rukovodstvo-po-nyusdzhekingu-dlya-kontent-marketologov.html> (Дата обращения 23.11.2013).
14. **Бёрн, Э.** Игры, в которые играют люди. Психология человеческих взаимоотношений / Э. Бёрн. – М.: Эксмо-Пресс, 2010. – 352 с.
15. **Митта, А.** Кино между адом и раем. Кино по Эйзенштейну, Чехову, Шекспиру / А. Митта. – М.: Астрель, 2012. – 496 с.
16. **Макки, Р.** История на миллион долларов. Мастер-класс для сценаристов, писателей и не только... / Р. Макки. – М.: Альпина нон-фикшн, 2013. – 456 с.

*Дата поступления  
в редакцию 12.12.2013*

**I.A. Shelep**

## **EVENTFULNESS PARADIGM OF PROMOTION: POSSIBILITIES AND LIMITATIONS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** The theme of the article is to study the basic approaches to the eventfulness phenomenon within promotion. Topic is relevant only because of many modern methods of movement – such as, for example, PR or «viral marketing» – is event in nature.

**Design/methodology/approach:** The information society concept is used by the author from the point of post-modern way of thinking.

**Findings:** Despite the importance of the practical use of the category of «event», conceptual understanding of this phenomenon is not enough. The proposed material to some extent fills this gap.

**Research limitations/implications:** The strong «event-driven content» is the necessary condition of the breakthrough into the consciousness of the target audience in today's information society. The winner is the one who offers a clearer positioning of event.

**Originality/value:** The novelty of the article is that here the first attempt to review the events from different perspectives, to give a multidimensional, multi-factorial description, though rather short, advancing event as a phenomenon of social life.

*Key words:* event, rate, deviation, high impact, context, contrast, artifact, news, conflict.

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ

УДК 311

В.П. Колпашиников, Д.Е. Красильников

## О ПОСТРОЕНИИ ИНТЕРВАЛА РАЗБРОСА ЗНАЧЕНИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ЛИНИИ РЕГРЕССИИ

ООО «Смоуквент», г. Нижний Новгород

В статье рассмотрена методика построения доверительного интервала для системы внешне несвязанных уравнений на основе теоремы Гаусса-Маркова.

*Ключевые слова:* технически сложные системы, системы регрессионных уравнений, стоимость эксплуатации.

В экономической литературе часто решается задача о нахождении экономических величин по линии регрессии. В качестве примера можно привести работы [1]; [4, с. 228-243]; [7].

Тем не менее, эту задачу можно еще более обобщить, построив доверительный интервал для этой величины, поскольку маловероятно, что ее значения будут в точности описаны найденным уравнением. Сделать это можно на основании теоремы Гаусса-Маркова<sup>1</sup> [10, с. 41-46, 69-72].

В качестве примера рассмотрим систему регрессионных уравнений, полученную в статье [7], в которой рассмотрена методика оценки стоимости эксплуатации технически сложной системы на основе линии регрессии.

$$\begin{cases} \hat{x}_2 = 18472,73 + 0,186x_3 \\ \hat{x}_4 = 5976,632 + 1,016x_1 + 1,017x_3 \end{cases} \quad (1)$$

**Таблица 1**  
**Переменные**

|      |                     |
|------|---------------------|
| X(1) | Входящие материалы  |
| X(2) | Входящие работы     |
| X(3) | Работы              |
| X(4) | Выходящие материалы |

© Колпашиников В.П., Красильников Д.Е., 2014.

<sup>1</sup> Although known as the Gauss-Markov theorem the least squares approach of Gauss antedates (1821) the minimum-variance approach of Markov (1900). [12, глава 3.4] «Несмотря на то, что эта теорема называется теоремой Гаусса-Маркова, подход наименьших квадратов был рассмотрен Гауссом в 1821 году, а подход наименьшей вариации – Марковым в 1900 году» (перевод Красильникова Д.Е.).

Таблица 2

## Исходная информация по проектам в рублях

| Входящие материалы | Входящие работы | Работы     | Выходящие материалы |
|--------------------|-----------------|------------|---------------------|
| 1 095 000,00       | 40 000,00       | 128 140,00 | 1 157 913,41        |
| 1 117 138,00       | 97 000,00       | 499 800,00 | 1 999 200,00        |
| 294 762,92         | 22 000,00       | 69 456,40  | 303 462,80          |
| 1 171 619,00       | 150 000,00      | 667 663,51 | 1 620 931,00        |
| 422 501,20         | 70 000,00       | 175 388,20 | 682 706,00          |

Такие системы уравнений (1) в экономической теории и математической статистике называется системами регрессионных уравнений. Они традиционно входят в перечень тем, включенных в большинство учебников по эконометрике. Для ознакомления с этой проблемой можно порекомендовать статью [6].

Рассматриваемая система (1) относится к типу внешне не связанных между собой уравнений (Seemingly Unrelated Regression, SUR) [10, с. 220-223]. Они связаны между собой лишь благодаря наличию слабой корреляции (коэффициент корреляции Пирсона менее 0,5) [4, с. 205] между остатками<sup>2</sup> в разных уравнениях. Убедимся в этом.

Для этого составим табл. 3 и табл. 4. В первых столбцах этих таблиц даны значения независимых переменных: для регрессии Входящих работ на Работы – Работы (табл. 3); для регрессии Выходящих материалов на Входящие материалы и Работы – Входящие материалы и Работы (табл. 4). В следующем столбце даются значения зависимых переменных по выборке: для регрессии Входящих работ на Работы – Входящие работы (табл. 3); для регрессии Выходящих материалов на Входящие материалы и Работы – Выходящие материалы (табл. 4). В следующий столбец (X(2) – табл. 3 и X(4) – табл. 4) заносятся значения зависимых переменных, полученные по системе уравнений. Последний столбец (остаток – e) представляет собой разность между значениями, полученными по выборке и регрессии.

Таблица 3

## Расчет остатка для регрессии Входящих работ на Работы

| X(3)       | X(2)       | $X(2)=18472,73+0,186 \cdot X(3)$ | e          |
|------------|------------|----------------------------------|------------|
| 128 140,00 | 40 000,00  | 42306,77                         | -2 306,77  |
| 499 800,00 | 97 000,00  | 111435,53                        | -14 435,53 |
| 69 456,40  | 22 000,00  | 31391,6204                       | -9 391,62  |
| 667 663,51 | 150 000,00 | 142658,1429                      | 7 341,86   |
| 175 388,20 | 70 000,00  | 51094,9352                       | 18 905,06  |

Таблица 4

## Расчет остатка для регрессии Выходящих материалов на Входящие материалы и Работы

| X(1)         | X(3)       | X(4)         | $X(4)=5976,632+1,016 \cdot X(1)+1,017 \cdot X(3)$ | e           |
|--------------|------------|--------------|---------------------------------------------------|-------------|
| 1 095 000,00 | 128 140,00 | 1 157 913,41 | 1248815,01                                        | 90 901,60   |
| 1 117 138,00 | 499 800,00 | 1 999 200,00 | 1649285,44                                        | -349 914,56 |
| 294 762,92   | 69 456,40  | 303 462,80   | 376092,92                                         | 72 630,12   |
| 1 171 619,00 | 667 663,51 | 1 620 931,00 | 1875355,33                                        | 254 424,33  |
| 422 501,20   | 175 388,20 | 682 706,00   | 613607,65                                         | -69 098,35  |

<sup>2</sup> Под остатком понимается разность между значением, полученным по выборке, и значением, полученным по регрессии.

Вычислив коэффициент корреляции Пирсона между остатками из табл. 3 и табл. 4, получили 0,39, что свидетельствует о слабой корреляции остатков, а, следовательно, внешней не связанности уравнений. Другими словами, каждое отдельное уравнение в (1) удовлетворяет условиям классической регрессионной модели и может быть оценено обычным методом наименьших квадратов.

С точки зрения экономической теории, это означает, что мы имеем двухуровневый процесс производства: часть работ отдается на аутсорсинг нижней фирме, а другая производится организацией, которую мы изучаем, - верхней фирмой<sup>3</sup>.

Если бы это было не так, то мы бы получили не систему внешне не связанных между собой уравнений (Seemingly Unrelated Regressions, SUR), а систему одновременных уравнений (Simultaneous Equations), которую не так просто идентифицировать, поскольку не ясно в какое уравнение, какая независимая переменная входит. Для того чтобы ее составить, необходимо сначала идентифицировать уравнения – выяснить какая независимая переменная к какому уравнению относится. Наиболее известным правилом для идентификации систем одновременных уравнений является так называемое порядковое условие идентификации (Order Condition for Identification):

«Необходимым условием для идентификации уравнения является наличие ограничений на переменные, в него входящие, в количестве, как минимум, на единицу меньше, чем число самих уравнений в системе. Эти ограничения могут быть очень простыми. Например, некоторые переменные в системе уравнений не встречаются в изучаемом нами уравнении» (перевод Красильникова Д.Е.)<sup>4</sup>.

Следует отметить, что системы одновременных уравнений являются малоизученной областью регрессионного анализа. По этой причине исследователь, столкнувшийся с такой системой, неизбежно будет вынужден использовать нестандартные методы оценивания, что приведет к усложнению математических расчетов.

Убедившись в том, что уравнения, описывающие стоимость эксплуатации технически сложных систем внешне не связаны, можно использовать классические методы прогнозирования, основанные на теореме Гаусса-Маркова.

Итак, у нас есть проект, для которого стоимость Работ ( $X(3)$ ) оценивается в 420 000 рублей, а стоимость Входящих материалов в 615 000. Для того чтобы сказать можно ли рассчитать прогнозную стоимость Выходящих материалов (стоимость эксплуатации технически сложной системы), необходимо сначала проверить, входят ли данные значения в интервалы для наименьшего и наибольшего значения соответствующих переменных (табл. 5). Если они в эти интервалы не входят, то прогноз по системе регрессионных уравнений сделать нельзя, поскольку данные относятся к другой статистической совокупности (массиву данных). В нашем случае значения независимых переменных входят в интервалы для них.

Таблица 5

## Размах вариации статистической совокупности (рубли)

| Переменная | Название           | Минимальное значение | Среднее ( $x_i$ ) | Максимальное значение |
|------------|--------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| X(1)       | Входящие материалы | 294 762,92           | 820 204,2         | 1 117 138             |
| X(2)       | Входящие работы    | 22 000               | 75 800            | 150 000               |
| X(3)       | Работы             | 69 456,4             | 308 089,6         | 667 663,51            |

<sup>3</sup> Понятия верхняя и нижняя фирма берут свое начало в Средневековье. Тогда под нижней фирмой понимали фирму, рубящую лес (обычно она располагалась ниже по течению), а под верхней – фирму, использующей этот лес в своей деятельности (она располагалась выше по течению).

<sup>4</sup> «A necessary condition for an equation to be identified is that the total number of restrictions placed on its parameters should be at least as great as the number of equations in the model less one. The restrictions referred to in the rule may be of a very simple kind, merely implying some variable in the model does not appear in the equation of interest...» [14, с. 218].

|      |                     |           |           |           |
|------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| X(4) | Выходящие материалы | 303 462,8 | 1 152 843 | 1 999 200 |
|------|---------------------|-----------|-----------|-----------|

Сначала выясним, какую сумму денег придется отдать сторонним организациям для выполнения подряда. Для этого в первое уравнение (1) подставим значение переменной Работы (X(3)):

$$\hat{x}_2 = 18472,73 + 0,186x_3 = 18472,73 + 0,186 \cdot 420000 = 96592,73.$$

В качестве проверки точности расчетов можно посмотреть входит ли значение зависимой переменной в интервал между наибольшим и наименьшим значением для нее, имеющимся в статистической совокупности. Если полученное значение не входит в него, то расчет произведен не верно.

Поскольку прогнозное значение считается по ограниченной совокупности, то необходимо построить доверительный интервал для него. Методика построения доверительных интервалов для зависимой переменной в парной регрессии в отечественной литературе рассматривается весьма поверхностно. В большинстве источников приводится лишь формула (часто с ошибками) для его построения. Для более детального знакомства с проблемой следует читать английские работы, например [13, с. 85-88, 101-103]; [14, с. 151-153] и другие. Из работ на русском языке наиболее полно эта проблема освещена в книге [9]. Из современных изданий можно порекомендовать [3, гл. 4.3].

Формула для вычисления длины доверительного интервала для парной регрессии имеет вид:

$$z = t_{n-2; \frac{\alpha}{2}} \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_3 - \bar{x}_3)^2}{\sigma_{x_3}^2 n}} \quad (2)$$

где  $t_{n-2; \frac{\alpha}{2}}$  – величина, получаемая по таблице процентных точек распределения Стьюдента с  $n-2$  степенями свободы (на две меньше, чем число элементов в выборке) и двусторонней критической областью ( $\frac{\alpha}{2}$ ). «За величину  $\alpha$  принято брать 5% в качестве вероятности для отклонения гипотезы. Тем не менее, можно использовать и другие значения этого параметра. Теория тестирования гипотез с общепринятым уровнем значимости 0,05 и 0,01 была создана известным английским статистиком сэром Р.А. Фишером (1890-1962). Он считается отцом основателем современных статистических методов и числа 0,05 и 0,01, предложенные им, используются по всему миру» (перевод Красильникова Д.Е.)<sup>5</sup>.

Другой причиной, по которой следует использовать именно 5%, является факт, что при переходе от 0,05 к 0,01 оценка вероятности становится крайне ненадежной [11, с. 96].

В нашем случае  $t_{n-2; \frac{\alpha}{2}} = t_{5-2; \frac{5\%}{2}} = 3,1824$  - [2, табл. 3.2].

$n$  – число элементов в выборке. В нашем случае  $n=5$

$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2}}$  – ошибка функции. Вычисляется как корень квадратный из суммы квадратов остатков, деленный на число элементов в выборке минус два. На основе данных табл. 3

сумма квадратов остатков равна 713 212 589,31 ( $\sum_{i=1}^n e_i^2 = 713 212 589,31$ ). Тогда ошибка функ-

<sup>5</sup> Although it is customary to use the 5% probability level for rejection of the suggested hypothesis, there is nothing sacred about this number. The theory of significance tests with the commonly used significance levels of 0,05 and 0,01 owes its origins to the famous British statistician Sir R. A. Fischer (1890-1962). He is considered the father of modern statistical methods and the numbers 0,05 and 0,01 suggested by him have been adopted universally [13, с. 81].

ции составит

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{713212589,31}{5-2}} \approx 15418$$

X(3) – значение переменной Работы равно 420 000

$$\bar{x}_3 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{3i}}{n} - \text{среднее значение переменной работы (определяется как сумма элементов в}$$

столбце Работы табл. 2, деленная на их число). Из таблицы 5 видно, что оно составляет 308 089,6.

$$\sigma_{x_3}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{3i} - \bar{x}_3)^2}{n} - \text{дисперсия элементов в столбце Работы табл. 2. Определяется}$$

как сумма квадратов отклонений от средней, деленное на число элементов в столбце Работы. Исходя из данных таблицы 2, дисперсия равна 68 245 899 616.

Таким образом, длина доверительного интервала будет равна:

$$\begin{aligned} z &= t_{n-2; \frac{\alpha}{2}} \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_3 - \bar{x}_3)^2}{\sigma_{x_3}^2 n}} = \\ &= 3,1824 * 15418 * \\ &* \sqrt{1 + \frac{1}{5} + \frac{(420000 - 308089,6)^2}{68245899616 * 5}} \approx \\ &\approx 54565. \end{aligned}$$

Чтобы получить сам доверительный интервал для переменной Входящие работы, необходимо вычесть его длину из полученного по регрессии значения (нижняя граница доверительного интервала) и прибавить его (верхняя граница доверительного интервала).

Нижняя граница: 96592,73-54565=42027,73 рублей.

Верхняя граница: 96592,73+54565=151157,73 рублей.

Поскольку верхняя граница выходит за максимальное значение переменной Входящие работы, то за нее следует считать ее максимальное значение, то есть 150 000.

Таким образом, проект, затраты работ на который оцениваются в 420 000 рублей, потребует передачи суммы от 42 027,73 до 150 000 рублей сторонним организациям. Наиболее вероятно, что эта сумма составит 96 592,73 рубля.

В принципе длину доверительного интервала можно значительно уменьшить. Так, если посмотреть (2), то можно заметить, что величина  $\sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_3 - \bar{x}_3)^2}{\sigma_{x_3}^2 n}} \approx 1$ ,

если стоимость Работ, изучаемого проекта достаточно близка к средней (наиболее типичной стоимости). Значение t-статистики ( $t_{n-2; \frac{\alpha}{2}}$ ) падает с увеличением числа элементов в вы-

борке. Так для 7 элементов оно составит 2,5706; 12 – 2,2281; 57 – 2,0003 и т. д. Придел t-статистики – 1,96. Таким образом, длина доверительного интервала в пределе равна:



$$z = t_{n-2; \frac{\alpha}{2}} \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_3 - \bar{x}_3)^2}{\sigma_{x_3}^2 n}} =$$

$$= 1,96 * \sigma \approx 1,96 * 15418 \approx 30000.$$

Другими словами, почти в два раза меньше, чем получено по исходным данным, но, к сожалению, на предприятии ООО «Смоуквент», на котором были собраны данные, в полугодие выполняется лишь 5-8 проектов. По этой причине длина доверительного интервала получается сильно завышенной.

После того как мы рассчитали сумму, которую придется отдать сторонним организациям, мы можем рассчитать стоимость Выходящих материалов (стоимость обслуживания технически сложной системы). Для этого, подставим исходные данные о проекте во второе уравнение (1):

$$\hat{x}_4 = 5976,632 + 1,016x_1 + 1,017x_3 =$$

$$= 5976,632 + 1,016 * 615000 + 1,017 * 420000 = 1057956,63$$

Это число входит в интервал между наибольшим и наименьшим значением переменной Выходящие материалы, то есть считается верным. Для того чтобы получить доверительный интервал для него, нужно составить расширенную матрицу объясняющих переменных (X) [10, стр. глава 7] – она получается добавлением столбца единиц к значениям в столбцах Входящие материалы (X(1)) и Работы (X(3)) табл. 2:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1095000 & 128140 \\ 1 & 1117138 & 499800 \\ 1 & 294762,92 & 69456,4 \\ 1 & 1171619 & 667663,51 \\ 1 & 422501,2 & 175388,2 \end{bmatrix}$$

Данные о проекте преобразуются в векторный вид:

$$\bar{x}_0 \{1; 615000; 420000\}$$

После этого нужно решить матричное уравнение, описывающее длину доверительного интервала для зависимой переменной в многомерной регрессии:

$$z = t_{\frac{\alpha}{2}; n-k-1} \sigma \sqrt{1 + \bar{x}_0 (x^T x)^{-1} \bar{x}_0^T} \quad (3)$$

В этой формуле:

$t_{\frac{\alpha}{2}; n-k-1}$  – величина, получаемая по таблице процентных точек распределения Стьюдента с  $n-k-1$  степенями свободы, на  $k+1$  (число оцениваемых параметров регрессии) меньше, чем число элементов в выборке, и двусторонней критической областью ( $\frac{\alpha}{2}$ ). В нашем случае  $k+1=3$ .

Таким образом, значение  $t$ -статистики составит:  $t_{\frac{\alpha}{2}; n-k-1} = t_{\frac{5\%}{2}; 5-3} = 4,3027$  - [2, табл. 3.2].

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-k-1}} - \text{ошибка функции. Вычисляется как корень квадратный из суммы квадратов остатков, деленный на число элементов в выборке минус число оцениваемых параметров регрессии. На основе данных таблицы 4 сумма квадратов остатков равна 205 484 753}$$

ратов остатков, деленный на число элементов в выборке минус число оцениваемых параметров регрессии. На основе данных таблицы 4 сумма квадратов остатков равна 205 484 753

$$899,57 \left( \sum_{i=1}^n e_i^2 = 205484753899,57 \right).$$

Тогда ошибка функции составит:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-k-1}} = \sqrt{\frac{205484753899,57}{5-2-1}} = 320534,52.$$

Уравнение для  $z$  проще всего решать в программе Matlab [8].

Решив это уравнение, получаем длину доверительного интервала ( $z$ ) равную 1 710 163,197. Чтобы получить сам доверительный интервал для переменной Выходящие материалы, необходимо вычесть его длину из полученного по регрессии значения (нижняя граница доверительного интервала) и прибавить его (верхняя граница доверительного интервала).

Нижняя граница: 1057956,63-1710163,197=-652206,567

Верхняя граница: 1057956,63+1710163,197=2768119,827

Очевидно, что в обоих случаях доверительный интервал превышает минимальное и максимальное значение переменной Выходящие материалы. По этой причине за нижнюю границу доверительного интервала берут минимальное значение, а за верхнее – максимальное (табл. 5).

Нижняя граница: 303 462,8 рублей.

Верхняя граница: 1 999 200 рублей.

Таким образом, прогнозная стоимость эксплуатации проекта, затраты Входящих материалов на который оцениваются в 615 000 рублей, а Работ в 420 000 находится в интервале от 303 462,8 до 1 999 200 рублей. Наиболее вероятно, что его стоимость составит 1 057 956,63 рубля.

Как и в предыдущем случае, длина доверительного интервала сильно завышена из-за небольшого числа наблюдений, и, следовательно, высокого значения  $t$ -статистики даже по сравнению с первым регрессионным уравнением (1).

Следует отметить, что для многомерной регрессии длина доверительного интервала не обязательно будет уменьшаться, если показатели проекта будут стремиться к своим средним величинам, поскольку значительное воздействие на него оказывает совместное влияние переменных:

«В случае парной регрессии было отмечено, что длина доверительного интервала увеличивается вместе с удалением от средней. В случае многомерной регрессии нельзя сказать, что длина доверительного интервала увеличивается вместе с Евклидовым расстоянием  $\sqrt{(x_{ij} - \bar{x}_j)^2 + (x_{ij+1} - \bar{x}_{j+1})^2}$ . Это объясняется наличием ковариации... Если  $x_1$  и  $x_2$  сильно коррелированы, то все равно длина доверительного интервала для изучаемого проекта ( $x_j$ ) будет довольно большой, несмотря на то, что Евклидово расстояние параметров этого проекта от внутригрупповых средних одно и то же. Таким образом, простое соотношение найденное для парной регрессии не действует в случае многомерной<sup>6</sup>» (перевод Красильникова Д.Е.).

### Библиографический список

<sup>6</sup> In the case of simple regression we said that the variance of the prediction error increase as we increase the distance of the point  $x_j$  from  $\bar{X}$ . In the case of multiple regression we cannot say that the variance of the prediction error increase with the Euclidean distance  $\sqrt{(x_{ij} - \bar{x}_j)^2 + (x_{ij+1} - \bar{x}_{j+1})^2}$ . This is because there is the covariance term as well... If  $x_1$  and  $x_2$  are highly correlated, we will observe wide discrepancies in the variance of the prediction error for the same Euclidean distance of the value of  $x_j$  from the sample mean. Thus the simple relationship we found in the case of simple regression does not hold in multiple regression [13, c. 155-156].

1. **Баранова, С.В.** К вопросу о степени влияния кредита на финансовые результаты деятельности организаций АПК / С.В. Баранова, Е.С. Филонова // Инновационный путь развития РФ как важнейшее условие преодоления мирового финансово-экономического кризиса: мат. международной научно-практической конференции, 21-22 апреля 2009 г., – М. Т. 2.
2. **Большев, Л.Н.** Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – М.: Наука, 1983.
3. **Дубров, А.М.** Многомерные статистические методы / В.С. Мхитарян, Л.В. Трошин. – М.: Финансы и статистика, 2003.
4. **Елисеева, И. И.** Общая теория статистики / И. И. Елисеева, М. М. Юзбашев. – М.: Финансы и статистика, 1995.
5. **Иванов, С.И.** Основы экономической теории / С.И. Иванов. – М.: Вита Пресс, 2001.
6. **Красильников, Д.Е.** Обзор литературы по корреляционно-регрессионному анализу с момента возникновения по настоящее время // Математика в высшем образовании. 2010. №8.
7. **Красильников, Д.Е.** Оценка стоимости обслуживания технически сложных систем / Инновационный путь развития РФ как важнейшее условие преодоления мирового финансово-экономического кризиса: мат. международной научно-практической конференции, 21-22 апреля 2009 г. – М. Т. 2.
8. **Красильников, Д.Е.** Программное обеспечение эконометрического исследования // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2011. №3(2).
9. **Линник, Ю.В.** Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. 2-е изд., исп., доп. – М.: Физматгиз, 1962.
10. **Магнус, Я.Р.** Эконометрика: начальный курс / Я.Р. Магнус, П.К. Катыхов, А.А. Пересецкий. – 6-е изд. перераб. и доп. – М.: Дело, 2004.
11. **Тунтубалин, В.Н.** Теория вероятностей / В.Н. Тунтубалин. – М.: Изд-во Московского университета, 1972.
12. **Gujarati, D. N.** Basic Econometrics. 3d ed. - McGrawHill, 1995.
13. **Maddala, G. S.** Introduction to Econometrics. 2nd ed. – Willey, 1992.
14. **Thomas, R. L.** Modern Econometrics: an Introduction. – Longman, 1997.

Дата поступления  
в редакцию 01.02.2014

**V.P. Kolpashnikov, D.E. Krasilnikov**

## ON DISPERSION RANGE CONSTRUCTION FOR ECONOMIC VALUES OBTAINED FROM LINEAR REGRESSION

SMOKEVENT, Limited Liability Company

**Purpose:** The article proposes the method for range construction for economic values obtained from Seemingly Unrelated Regression (SUR) based on Gauss-Markov theorem.

**Design/methodology/approach:** A theoretical framework is described for the case of two equations: one of them includes two independent variables and another – one. Therefore two different types of calculations are illustrated.

**Findings:** The results of research are applicable in economic analysis, may be contained in academic courses on econometrics and industrial organization. Besides, the framework can be adapted by accountants for cost assessment of manufacturing products.

**Research limitations/implications:** The article considers only the case of Seemingly Unrelated Regression (SUR) and cannot be implemented in case of Systems of Simultaneous Equations which are apparently similar. The criterion for emplacement of the framework is Pearson coefficient value of correlation between errors of two equations less than 0,5.

**Originality/value:** In practice seemingly unrelated regression models are described only on theoretical economic models like overall equilibrium, IS-LM framework and others. This article suggests another approach to this mathematical model as a “tool” for cost assessment.

**Key words:** technically compound systems, econometrics analysis, maintenance cost, Seemingly Unrelated Regression (SUR).

УДК 576.311:577.158:612.82.001.8

А.Н. Мошкова<sup>1</sup>, Е.И. Ерлыкина<sup>2</sup>, Е.М. Хватова<sup>2</sup>, Н.П. Тежикова<sup>1</sup>**ВЫБОР ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ФЕРМЕНТНЫХ КОМПЛЕКСОВ  
ДЫХАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ В УСЛОВИЯХ ГИПОКСИИ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Нижегородская государственная медицинская академия Минздрава России<sup>2</sup>

**Цель работы:** Изучение функции митохондриальных ферментных комплексов I, II, IV в разных условиях разрежения атмосферного давления. Анализ зависимых отношений активностей ферментов дыхательной цепи методом эмпирических зависимостей, выявление закономерности в характере их изменения для прогнозирования энергетического состояния мозга при гипобарической гипоксии.

**Методология:** В работе использован метод эмпирических зависимостей для оценки и прогнозирования дисфункции митохондриальных ферментных комплексов I, II, IV дыхательной цепи, коррелирующей со степенью тяжести гипоксического воздействия.

**Результаты и область их применения:** Построена модель множественной регрессии, позволяющая провести оценку влияния гипоксии на устойчивость зависимых отношений МФК I, II, IV ДЦ, прогнозировать активность цитохромоксидазы при митохондриальной дисфункции I и II комплексов ДЦ в разных условиях гипоксии, проводить оценку активностей МФК I, II по активности МФК IV в экстремальных гипоксических состояниях мозга.

**Выводы:** В результате проведенных исследований построена модель множественной регрессии, аппроксимирующая количественную зависимость митохондриальных ферментных комплексов ДЦ от степени тяжести гипоксического воздействия.

*Ключевые слова:* митохондриальные ферментные комплексы, дыхательная цепь, гипоксия, модель множественной регрессии.

**Введение**

Изучение повреждений организма, вызванных гипоксическими воздействиями, разработка методов их профилактики и коррекции составляют важнейшую проблему биологии и медицины. Головной мозг в первую очередь и в большей степени претерпевает изменения при кислородном голодании. Повышенная чувствительность ткани мозга к дефициту кислорода зависит от постоянного и большого расхода энергии на осуществление его функций. Основным источником энергии для мозга является АТФ – аденозинтрифосфат. Большое количество АТФ мозг получает в ходе окислительного фосфорилирования, которое катализируется полиферментативной системой, представляющей собой дыхательную цепь – ДЦ.

Сведения о функциональном состоянии дыхательной цепи в зависимости от глубины и продолжительности кислородного голодания характеризуют большие ее резервные возможности, поддерживающие энергетические потребности клеток мозга в условиях гипоксии.

Многочисленные исследования биоэнергетических механизмов гипоксии нашли свое отражение в целом ряде публикаций [4–10].

Установлено, что митохондриальная дыхательная цепь в условиях снижения доставки кислорода к клеткам вовлекается в энергетический процесс как единая функционально-метаболическая система, выполняя тем самым роль регулятора и модулятора потребления кислорода и скорости его поступления из внеклеточной среды к митохондриям.

Несмотря на то, что функциональные последствия нарушений в мозге, связанные с дефицитом кислорода, достаточно хорошо изучены, многие биоэнергетические аспекты этого явления продолжают требовать своего решения. Например, не существует четких и объек-

тивных критериев, позволяющих дифференцировать степень тяжести кислородного голодания, прогнозировать изменение энергетического потенциала мозга при дисфункции МФК ДЦ, проводить оценку направленности обменных процессов мозга в экстремальных гипоксических состояниях.

Целью настоящего исследования является анализ зависимых отношений активностей МФК ДЦ с учетом их корреляции со степенью тяжести гипоксического воздействия, оценка закономерности в характере их изменений и построение модели множественной регрессии, позволяющей прогнозировать расчетным способом энергетическое состояние мозга при дисфункции МФК ДЦ.

### Результаты

Экспериментально установлено, что с нарастанием тяжести гипоксического воздействия просматривается однонаправленный характер изменения активности МФК I, II, IV по отношению к уровню интактных животных: при умеренной форме гипоксии – возрастающий, при острой – убывающий. В динамике развития гипоксии сравнивался характер изменения окислительных ферментов по отношению друг к другу.

Для этого изучались значения коэффициентов отношения активностей

$$C_1 = \frac{\text{ЦО}}{\text{НАДН-дг}}, \quad C_2 = \frac{\text{ЦО}}{\text{СДГ}}, \quad C_3 = \frac{\text{ЦО}}{\text{НАДН-дг} + \text{СДГ}}$$

в разных условиях гипоксии, представленных в табл. 1.

Таблица 1

**Коэффициенты отношений активности ЦО к активностям ферментов  
начального участка дыхательной цепи**

| Атмосферное давление, мм рт. ст. | СДГ               | НАДН-дг             | ЦО                 | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> |
|----------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|
|                                  | мкМоль цит.       | С/мг белка в минуту |                    |                |                |                |
| 760                              | 24,8±1,28<br>(25) | 35,0±1,81<br>(25)   | 73,7±5,98<br>(25)  | 2,1            | 2,97           | 1,23           |
| 310                              | *32,9±3,77<br>(6) | *48,0±3,14<br>(6)   | *109,4±5,87<br>(6) | 2,28           | 3,33           | 1,35           |
| 270                              | *19,1±2,03<br>(6) | *18,7±3,03<br>(6)   | *40,9±5,87<br>(6)  | 2,18           | 2,14           | 1,08           |
| 230                              | *19,3±1,86<br>(6) | *16,6±1,67<br>(6)   | *33,6±2,53<br>(6)  | 2,03           | 1,7            | 0,9            |

Примечание: \* – статистически значимые изменения по сравнению с интактными животными  $p < 0,05$ .

Из табл. 1 видно, что величины коэффициентов C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> меняются с изменением атмосферного давления, показывая характер изменения активности МФК IV от функции МФК I при экстремальных гипоксических состояниях мозга. Так, C<sub>1</sub> → 2 при всех величинах атмосферного давления 760–230 мм рт. ст. Следовательно, активность ЦО всегда больше активности НАДН-дг приблизительно в 2 раза независимо от тяжести гипоксического воздействия. Коэффициент C<sub>2</sub> → 3 при атмосферном давлении 760–310 мм рт. ст. и C<sub>2</sub> → 2 при атмосферном давлении 270–230 мм рт. ст. Это означает, что активность ЦО больше активности СДГ при умеренной форме гипоксии ≈ в 3 раза. При острых нарушениях кислородного режима активность ЦО уменьшается в сравнении с предыдущим воздействием, но остается больше сукцинатдегидрогеназной активности ≈ в 2 раза, аналогичной характеру ее изменения по отношению к активности НАДН-дг в этих условиях ( $C_1 = \frac{\text{ЦО}}{\text{НАДН-дг}} \rightarrow 2$ ).

Активность ЦО по отношению к суммарной активности НАДН-дг + СДГ незначительно больше при умеренной форме гипоксии (атм. давл. 760–310 мм рт. ст.) и

$C_3 = \frac{\text{ЦО}}{\text{НАДН-дг} + \text{СДГ}}$  равен 1,23, 1,35 соответственно, в то время как при экстремальных гипоксических состояниях мозга (атм. давл. 270–230 мм рт. ст.)  $C_3 \rightarrow 1$ , и активность ЦО сопоставима с суммарной активностью НАДН-дг + СДГ.

Таким образом, анализ экспериментальных активностей МФК I, II, IV в разных условиях гипоксии показывает, что в характере их изменения просматривается некоторая закономерность.

Задачей следующего этапа исследования являлось определение точного вида зависимости между ферментными комплексами ДЦ, установление степени тесноты взаимодействия выбранных показателей при дисфункции МФК и возможности прогнозирования активности МФК в условиях, опасных для жизнедеятельности организма.

При решении этой задачи использованы эмпирические зависимости для оценки регуляторной роли митохондриальных ферментных комплексов I и II на активность МФК IV в условиях гипоксического воздействия. Подбирались корреляционные тренды с помощью процессора Excel, которые давали возможность выбрать регрессионную модель, наилучшим образом объединяющую экспериментальные показатели  $x_i$  и  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). В качестве зависимой переменной «у» рассматривалась активность цитохромоксидазы (ЦО(y)), независимой (объясняющей или факторной) переменной «х» служила активность окислительных ферментов начального участка ДЦ или сумма их активностей. Таким образом, аппроксимировались зависимости НАДН-дг( $x$ )  $\rightarrow$  ЦО(y); СДГ( $x$ )  $\rightarrow$  ЦО(y); (НАДН-дг + СДГ)( $x$ )  $\rightarrow$  ЦО(y).

В работу были введены разные функции: полиномиальная  $y = a_0x^m + a_1x^{m-1} + a_2x^{m-2} + \dots + a_m$ , где  $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ; логарифмическая  $y = a_0 \ln(x) + a_1$ , степенная  $y = a_0x^n$ , экспоненциальная  $y = a_0e^{a_1x}$ . Оценкой адекватности регрессионной модели эмпирическим показателям являлся коэффициент детерминации  $R^2$ , а для линейной регрессии – коэффициент корреляции  $r$ , который характеризовал тесноту связи между выбранными показателями.

После анализа результатов оказалось, что линейная функция  $y = a_0x + a_1$  наилучшим образом объединяла эмпирические показатели митохондриальных ферментных комплексов начального и конечного участков дыхательной цепи в разных условиях гипоксического воздействия.

Равенство коэффициента детерминации и квадрата коэффициента корреляции ( $R^2 = r^2$ ) подтверждало это положение. Вероятностная значимость  $R^2$  и  $r$  по  $F$ -критерию Фишера-Снедекора и  $t$ -критерию Стьюдента составляла 95–99%.

Величина коэффициента корреляции определяла тесноту корреляционной связи между выбранными показателями.

Установлено, что независимо от степени разрежения атмосферного давления очень тесная линейная зависимость остается устойчивой между суммарной активностью МФК I, II и МФК IV (НАДН-дг + СДГ)( $x$ )  $\rightarrow$  ЦО(y). можно предположить, что эта жесткая очень тесная линейная зависимость регулирует дисфункцию МФК IV в мозге животных при критическом нарушении кислородного режима, и активность ЦО в этом случае незначительно отличается от суммарной активности НАДН-дг + СДГ.

Значения линейной аппроксимации  $y = a_0x + a_1$  зависимых отношений активностей НАДН-дг, СДГ, ЦО, коэффициенты  $R^2$ ,  $r$  и теснота корреляционной связи представлены в табл. 2.

Принимая во внимание тот факт, что коэффициенты  $a_0$ ,  $a_1$  меняются от условий гипобарической гипоксии (табл. 2), проведена попытка усовершенствовать регрессионную модель  $y = a_0x + a_1$ , вводя в нее вторую факторную переменную « $h$ » – величину атмосферного давления, считая  $a_i = \varphi_i(h)$ , ( $i = 0, 1$ ). Графическая иллюстрация зависимостей  $a_i = \varphi_i(h)$  дала возможность использовать функцию  $\varphi_i(h) = (A2)_j + (A0)_j \cdot \cos((A1)_j/h)$  ( $j = 0, 1$ ), вид которой основывался на данных, полученных в эксперименте. Коэффициенты  $(A0)_j$ ,  $(A1)_j$ ,  $(A2)_j$  рассчитывались методом последовательных приближений.

Таблица 2

**Значимость линейной аппроксимации  $y = a_0x + a_1$  зависимости между активностью окислительных ферментов дыхательной цепи, форма тесноты связи между ними в разных условиях гипоксии**

| Атмосферное давление, мм рт. ст. | СДГ( $x$ ) $\rightarrow$ ЦО( $y$ )                                                  | НАДН-дг( $x$ ) $\rightarrow$ ЦО( $y$ )                                                | (НАДН-дг + СДГ)( $x$ ) $\rightarrow$ ЦО( $y$ ).                                         | Теснота связи |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 760                              | $y = 1,059x + 42,113$<br>$r = 0,9766068$<br>$R^2 = 0,9537311$<br>$r^2 = 0,9537609$  | $y = 1,436x + 27,991$<br>$r = 0,9914368$<br>$R^2 = 0,9829638$<br>$r^2 = 0,9829468$    | $y = 0,6133x + 35,8886$<br>$r = 0,986419$<br>$R^2 = 0,9730359$<br>$r^2 = 0,9730225$     | очень тесная  |
| 310                              | $y = 1,3336x + 64,95$<br>$r = 0,9559005$<br>$R^2 = 0,9138064$<br>$r^2 = 0,9137458$  | $y = 1,7002x + 31,088$<br>$r = 0,9453744$<br>$R^2 = 0,893772$<br>$r^2 = 0,8937325$    | $y = 0,767x + 48,4923$<br>$r = 0,96368388$<br>$R^2 = 0,9287878$<br>$r^2 = 0,92868661$   | очень тесная  |
| 270                              | $y = 0,852x + 23,514$<br>$r = 0,9798173$<br>$R^2 = 0,9582231$<br>$r^2 = 0,9600419$  | $y = 0,5689x + 29,353$<br>$r = 0,8452864$<br>$R^2 = 0,71457867$<br>$r^2 = 0,71450275$ | $y = 1,4519x + 11,9286$<br>$r = 0,92009848$<br>$R^2 = 0,84664003$<br>$r^2 = 0,84658121$ | очень тесная  |
| 230                              | $y = 1,9222x - 2,7722$<br>$r = 0,9151334$<br>$R^2 = 0,8374363$<br>$r^2 = 0,8374693$ | $y = 1,7995x + 4,682$<br>$r = 0,9524489$<br>$R^2 = 0,9071831$<br>$r^2 = 0,9071589$    | $y = 0,9468x + 0,45$<br>$r = 0,9433086$<br>$R^2 = 0,8891068$<br>$r^2 = 0,8896449$       | очень тесная  |

Таким образом, математическая модель, аппроксимирующая зависимость активности МФК IV от суммарной активности МФК I, II при любой допустимой для жизнедеятельности организма степени тяжести гипоксии принимала вид функции двух переменных  $y(x, h) = \varphi_0(h)x + \varphi_1(h)$ . Подставляя рассчитанные значения  $A0_j$ ,  $(A1)_j$ ,  $(A2)_j$  в функции  $\varphi_i(h)$  ( $i = 0, 1$ ), ( $j = 0, 1$ ), имеем:

$$y(x, h) = (0,709659 + 0,214781 \cdot \cos(1544,619/h)) \cdot x + (32,28878 - 36,9624 \cdot \cos(1266,172/h)),$$

где  $x$  – суммарная активность НАДН-дегидрогеназы (НАДН-дг) и сукуинатдегидрогеназы (СДГ), выраженная в мкМолях цит. С/мг белка в минуту;  $h$  – атмосферное давление, выраженное в мм рт. ст.;  $y(x, h)$  – активность цитохромоксидазы (ЦО), выраженная в мкМолях цит. С/мг белка в минуту, соотнесенная к мм рт. ст.

Проведены расчеты активности ЦО по суммарной экспериментальной активности НАДН-дг + СДГ и их сравнение с дополнительно поставленным экспериментом или литературными данными. Некоторые результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Рассчитанные по суммарной активности (НАДН-дг + СДГ)( $x$ ) и экспериментально установленные активности ЦО( $y$ ) в разных условиях гипоксии**

| Атмосферное<br>давление,<br>мм рт. ст. | Эксперимент.<br>НАДН-дг         | Эксперимент.<br>СДГ | Эксперимент.<br>ЦО | Рассчитанная<br>ЦО | Относительная<br>ошибка<br>расчета |
|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|
|                                        | мкМоль цит. С/мг белка в минуту |                     |                    |                    |                                    |
| 760                                    | 35,0 ± 1,81                     | 24,8 ± 1,28         | 73,7 ± 5,98        | 75,52040514        | 1,68%                              |
| 310                                    | 32,9 ± 3,77                     | 48,0 ± 3,14         | 109,4 ± 5,87       | 110,5423592        | 1,04%                              |
| 270                                    | 19,1 ± 20,3                     | 18,7 ± 3,03         | 40,9 ± 5,87        | 40,29617           | 1,48%                              |
| 230                                    | 19,3 ± 1,86                     | 16,6 ± 1,67         | 33,6 ± 2,53        | 34,44012           | 2,5%                               |
| 196                                    | 0,51<br>0,50                    | 0,23<br>0,31        | 6,10<br>6,55       | ср. 6,139595       | 2,93%                              |

Анализ аналитических значений активности ЦО показал, что построенная модель

$y(x, h) = \varphi_0(h)x + \varphi_1(h)$  хорошо объединяет эмпирические показатели активностей окислительных ферментов ДЦ в условиях гипоксии. Аналитические активности МФК IV в интервале атмосферного давления 760–230 мм рт. ст. сопоставимы с экспериментальными. Относительная ошибка расчета по среднему значению ЦО меньше 20% (табл. 3). Это соответствовало критерию допустимой погрешности работающей модели [1], и функция  $y(x, h) = \varphi_0(h)x + \varphi_1(h)$  отвечала требованиям поставленной задачи исследования.

После некоторой модификации представленную модель можно использовать для оценки активности МФК I и II по функции МФК IV при нарушении кислородного режима.

Таким образом, использование методов математического анализа дало возможность построить модель множественной регрессии, которая достаточно точно объединяет экспериментальные показатели активностей МФК. Предлагаемая функция позволяет:

- 1) оценить вид зависимостей и тесноту связи между активностью окислительных ферментов ДЦ митохондрий мозга в условиях гипоксии разной степени тяжести;
- 2) проследить влияние гипоксии на устойчивость зависимых отношений МФК I, II, IV ДЦ;
- 3) расчетным способом прогнозировать активность ЦО у интактных животных и при митохондриальной дисфункции I и II комплексов ДЦ в условиях гипоксии, опасных для жизнедеятельности организма;
- 4) расчетным способом проводить оценку активности МФК I и II по функции МФК IV в экстремальных гипоксических состояниях мозга.

### Список сокращений

ДЦ – дыхательная цепь

МФК – митохондриальные ферментные комплексы

НАДН-дг – НАДН-дегидрогеназа

СДГ – сукуинатдегидрогеназа

ЦО – цитохромоксидаза

### Библиографический список

1. Марри, Дж. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии – лекции о моделях / Дж. Марри. // Москва: Мир, 1983. С. 383–390.
2. Самарский, А.А. Математическое моделирование в информационную эпоху. / А.А. Самарский, А.П. Михайлов // Вестник РАН. 2004. Т. 74. № 12. С. 781–784.
3. Сиднев, Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных // Москва, Юрайт. 2011. С. 31–139.
4. Лукьянова, Л.Д. Регуляторная роль митохондрий при гипоксии и их взаимодействие с транскрипционной активностью / Л.Д. Лукьянова, А.М. Дудченко, Т.А. Цибина // Вести РАМН. 2007. № 2. С. 3–13.
5. Лукьянова, Л.Д. Действие интегральной нормобарической гипоксии на кинетические свойства митохондриальных ферментов / Л.Д. Лукьянова, А.М. Дудченко, Т.А. Цибина // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2007. № 12. С. 644–651.
6. Лукьянова Л.Д. Сигнальная функция митохондрий при гипоксии и адаптации // Патогенез. 2008. Т. 6. № 3. С. 4–12.
7. Лукьянова, Л.Д. Новое о сигнальных механизмах адаптации к гипоксии и их роли в системной регуляции / Л.Д. Лукьянова, Ю.И. Кирова, Г.В. Сукоян // Патогенез. 2011. Т. 9. № 3. С. 4–14.
8. Moshkova A.N., Khvatova E.M. and Rusakova I.A. Mathematical Analysis of Kinetic Characteristics of Oxidative Phosphorylation in the Animal Brain under Hypoxic Conditions ISSN 1819–7124 // Neurochemical Journal. 2007. V. 3. No 3. P. 240–243.
9. Moshkova A.N., Khvatova E.M., Rusakova I.A. Analysis and predictions of ATP Concentration in the Animal Brain under Hypoxic Conditions ISSN 1819–7124 // Neurochemical Journal. 2009. V. 3. No 1. P. 44–48.



10. **Moshkova A.N., Erlykina E.I., Sergeeva T.F. and Khvatova E.M.** Approach to Prediction of Adaptive State of Brain Energetic System under Conditions of Hypoxia // Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2010. V. 149. No. 3. P. 91–92.
11. **Ye J. Keller J.N.** Regulation of energy metabolist by inflammation: A feedback response in obesity and calonic restriction // Cytokine. 2010. V. 85. P. 56–60.
12. **Zinkernagel A.S., Johnson R.S., Nizet V.** Hypoxia unducible. 2007. V. 85. P. 1339–1346.

*Дата поступления  
в редакцию 07.02.2014*

**A.N. Moshkova<sup>1</sup>, E.I. Erlykina<sup>2</sup>, E.M. Khvatova<sup>2</sup>, N.P. Tezhikova<sup>1</sup>**

**THE OPTION OF EMPIRICAL DEPENDENCES FOR THE ASSESSMENT  
AND PROGNOSTICATION OF ENZYMATIC COMPLEXES  
FUNCTIONAL STATE IN HYPOXIA**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod State Medical Academy<sup>2</sup>

**Aim of the study:** investigation of mitochondria enzymatic complexes I, II, IV function in various conditions of atmospheric absolute pressure vacuum, as well as the analysis of respiratory chain enzyme activities dependent ratios by empirical dependencies method and identification of regularities in their changes for prognostication of brain energetic state in hypobaric hypoxia.

**Methodology:** empirical dependencies method was used in this study to evaluate and predict respiratory chain mitochondria enzymatic complexes I, II, IV dysfunction in a correlation with a degree of hypoxia influence.

**Results and area of their application:** a multiregression model was made to assess hypoxia influence on the respiratory chain mitochondria enzymatic complexes I, II, IV dependent ratios stability, predict cytochrome oxidase activity in mitochondria dysfunction of respiratory chain complexes I, II in various conditions, evaluate mitochondria enzymatic complexes activities by mitochondria enzymatic complex IV function in brain extreme hypoxic conditions.

**Conclusions:** the multiregression model was built as a result of this study to approximate a quantitative dependence of respiratory chain mitochondria enzymatic complexes on degree of hypoxia influence.

*Key words:* mitochondria enzymatic complexes, respiratory chain, hypoxia, multiregression model.

## НАШИ АВТОРЫ

### РАДИОТЕХНИКА, СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ, АНТЕННЫ И УСТРОЙСТВА СВЧ

**Баринова Валентина Федоровна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер;  
436-82-33, physics@nntu.nnov.ru

**Белов Юрий Георгиевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой;  
436-03-81, trt@nntu.nnov.ru

**Звездова Мария Юрьевна** – ОАО «ГИПРОГАЗЦЕНТР», инженер;  
428-28-64, mariazv@yandex.ru

**Зимин Валерий Васильевич** – Дзержинский политехнический институт НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;  
8313-32-23-58, comde@sinn.ru

**Ковалев Федор Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;  
436-78-80, kovalev@nntu.nnov.ru

**Ковалев Александр Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;  
436-80-13

**Нефедьев Илья Алексеевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ассистент;  
436-03-81, ra3tvj@mail.ru

### МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМ

**Асеева Наталья Владимировна** – Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, канд.ф.-м.наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой;  
(831) 4 16 95 36, naseeva@hse.ru

**Бляхман Людмила Григорьевна** – Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, старший преподаватель; (831) 4 16 95 40, lblyahman@hse.ru

**Зайцев Андрей Иванович** – ФГБУ науки Специального конструкторского бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук (СКБ САМИ ДВО РАН); канд. ф.-м. наук., заведующий лабораторией;  
(4242) 23-69-66, aizaytsev@mail.ru

**Семин Сергей Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант, мл. научн. со-

трудник; Университет Южного Квинсленда (г. Тувумба, Австралия), аспирант-стажер;  
(831) 436 23 25, serge.v.semin@gmail.com

**Костенко Ирина Сергеевна** – СКБ САМИ ДВО РАН, аспирант, мл. научн. сотрудник;  
(4242) 23-69-66, Irenka\_k@rambler.ru

**Логвинова Кира Владимировна** – Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, канд.ф.-м. наук, профессор; (831) 4 16 95 36, klogvinova@hse.ru

**Орлов Юрий Федорович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р ф.-м. наук, профессор; 4-194-788, Yorlov@mts-nn.ru

**Тютин Виктор Владимирович** – Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, канд.ф.-м. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой;  
(831) 4 16 95 40, vtyutin@hse.ru

**Химич Сергей Алексеевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант;  
2-273-231, scrazymaster1@gmail.com

### ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

**Жевнерчук Дмитрий Валерьевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доцент;  
+7 930 814 7347, zhevnerchuk@yandex.com

**Захаров Александр Сергеевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, магистрант  
+7 987 395 28 06, lukalex.nnov@gmail.com

**Лазарев Евгений Александрович** – Нижегородская лаборатория компании Intel, инженер, vladimirlaz@gmail.com

**Никулин Евгений Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, профессор, канд. техн. наук, доцент; +7 910 875 63 80, nea@mail.nnov.ru

**Родионов Павел Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, магистрант  
+7 930 810 1331, pahet.nnov@gmail.com

### МАШИНОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

**Власов Евгений Евгеньевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, ассистент, 436-57-10

**Просолович Александр Алексеевич** – Комсомольский-на-Амуре государственный тех-

нический университет, канд. техн. наук, доцент; 436-57-10

**Петровский Александр Николаевич** – НГТУ им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;

273 60 62, 8 910 387 0999, eneco-p@yandex.ru

**Кабалдин Юрий Георгиевич** – НГТУ им. Р. Е. Алексеева, д-р. техн. наук, профессор; 436-57-10, Uru.40@mail.ru

**Ларионов Игорь Сергеевич** – ООО «Флайт+Хоммель», конструктор; 89081589584

**Люлина Татьяна Сергеевна** – ОАО Концерн ПВО «Алмаз-Антей» филиал, инженер-технолог; lulina-tanya.zav@mail.ru

**Фролова Ирина Николаевна** – ОАО ПКО «Теплообменник», начальник бюро;

канд. техн. наук, доцент;

8-910-388-64-36, friririk@mail.ru

**Хвостиков Александр Сергеевич** – Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент; 436-57-10

## ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

**Безносков Александр Викторович** – НГТУ им. Р. Е. Алексеева, д-р. техн. наук, профессор; 8-831-436-80-23; besnosov@nntu.nnov.ru

**Бокова Татьяна Александровна** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;

8-831-436-80-23; besnosov@nntu.nnov.ru

**Дмитриев Сергей Михайлович** – НГТУ им.

Р. Е. Алексеева, ректор, заведующий кафедрой, д-р. техн. наук профессор,

(831) 436-63-34, e-mail: rectorat@nntu.ru

**Каратушина Ирина Викторовна** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;

(831) 436-80-23, ftf@nntu.nnov.ru

**Махов Кирилл Андреевич** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, аспирант;

8-831-436-80-23; besnosov@nntu.nnov.ru

**Пронин Алексей Николаевич** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, аспирант;

(831) 436-80-23, e-mail: proninaleksei@mail.ru

**Сорокин Владислав Дмитриевич** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, аспирант;

(831) 436-80-23, e-mail:

vlad.sorokin1987@mail.ru

**Хробостов Александр Евгеньевич** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, директор ИЯЭиТФ, канд.

техн. наук, доцент, (831) 436-80-23, e-mail:

khrobostov@nntu.nnov.ru

**Шумилков Артем Игоревич** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, аспирант;

8-831-436-80-23; besnosov@nntu.nnov.ru

**Шишков Глеб Иванович** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, проф., канд. техн. наук, доцент; (8312) 436-82-33.

**Щербаков Владимир Викторович** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;

(8312) 436-82-33, physics@nntu.nnov.ru

**Черныш Алексей Сергеевич** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, магистрант;

8-831-436-80-23; besnosov@nntu.nnov.ru

**Узлов Виктор Александрович** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, студент;

(8312) 436-82-33.

## НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

**Анфимова Татьяна Владимировна** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, инженер;

(831) 201-04-15

**Анучин Илья Евгеньевич** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, инженер; (831) 201-04-15

**Беляков Владимир Викторович** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, руководитель Управления научно-исследовательской и инновационной работы, д-р. техн. наук, профессор

+7-903-603-61-34, nauka@nntu.nnov.ru

**Герасин Андрей Владимирович** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, инженер; (831) 201-04-15

**Гагунов Сергей Алексеевич** – ООО «ОИЦ»,

руководитель Центра компетенции Процессы; +7 (831) 299-09-90, 299-09-84

**Егоров Виктор Иванович** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, ведущий инженер;

(831) 201-04-15

**Зезюлин Денис Владимирович** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук, старший преподаватель; balakhnaman@gmail.com

**Колотилин Владимир Евгеньевич** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;

transfer@nntu.nnov.ru

**Крясков Виктор Геннадьевич** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, инженер, аспирант;

(831) 201-04-15

**Соловьев Дмитрий Владимирович** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;

(831) 436-23-56

**Лелиовский Константин Ярославич** –

НГТУ им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук,

(831) 436-23-56

**Макаров Владимир Сергеевич** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент;

makvl2010@gmail.com

**Федоренко Александр Викторович** – НГТУ

им. Р. Е. Алексеева, начальник Отдела метрологии и стандартизации;

alex.fedorenko.tech@yandex.ru

**Штурмин Алексей Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер; (831) 201-04-15

## **ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ**

**Виноградов Владимир Сергеевич** - ОАО «ЦКБ «Лазурит», канд. техн. наук, инженер-конструктор; +7-905-666-79-68, (8312) 73 10 01, vin\_vs@mail.ru, cdb@cdb-lazurit.ru

**Горбиков Евгений Николаевич** - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд.техн.наук, доцент; smk@nntu.nnov.ru, +7-910-895-97-21, +7 (831) 436-10-42, +7 (831) 436-01-78

**Францев Михаил Эрнстович** - АО «Нептун-Судомонтаж», директор; старший эксперт Московского филиала Российского Речного Регистра, канд. техн. наук; +79037173125, +79191011595, +74954544115; gepard629@yandex.ru

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**

**Коробко Григорий Иванович** – ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта», доцент, канд. техн. наук; +79051934528, tv-out@narod.ru

**Лебедев Василий Владимирович** – ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта», заведующий лабораторией, аспирант; +79159426174, valeb1@yandex.ru

**Мальцев Алексей Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, магистр; 8-910-888-00-94

**Попов Сергей Васильевич** - ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта», доцент, канд. техн. наук; +79616325502, popovsev3@yandex.ru

**Соснина Елена Николаевна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; <sosnyna@yandex.ru>

**Тихомиров Владимир Анатольевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; 8-905-669-40-28, Vat45@mail.ru,

**Филатов Дмитрий Алексеевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант; <sosnyna@yandex.ru>

## **МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

**Гущин Вячеслав Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р. техн. наук, профес-

сор; (8312) 436-03-02, (8312)4679-671, taep@nntu.nnov.ru

**Кидалов Николай Алексеевич** - Волгоградский государственный технический университет, д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой; 8-8442-24-81-43, nich@vstu.ru  
**Князева Анна Сергеевна** - Волгоградский государственный технический университет, старший преподаватель; 8-909-387-03-95, anya-sn@mail.ru

**Леушин Игорь Олегович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, заведующий кафедрой, д-р. техн. наук, профессор; 8-831-436-43-95, igoleu@mail.ru

**Марфенин Сергей Николаевич** - ОАО "Нижегородский научно-исследовательский институт машиностроительных материалов "Прометей", генеральный директор; 8-831-229-61-53, info@prometey.nnov.ru

**Ульянов Владимир Андреевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р. техн. наук, профессор; (8312)436-03-02, (8312)278-13-35, taep@nntu.nnov.ru

**Чистяков Дмитрий Геннадьевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, аспирант; 8-952-460-21-97, 91\_liza@mail.ru

## **ХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОТЕХНОЛОГИИ**

**Востоков Владимир Михайлович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. хим. наук, доцент; (8-831) 436-63-60

**Воротынцев Владимир Михайлович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, заведующий кафедрой; (8-831) 436-03-61, vlad@vorotyn.nnov.ru

**Воротынцев Андрей Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева», м.н.с; (8-831) 436-03-61, an.vorotyntsev@gmail.com

**Воротынцев Илья Владимирович** - НГТУ им. Р.Е. Алексеева», профессор; (8-831) 436-03-61, ilyavorotyntsev@gmail.com

**Петухов Антон Николаевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева», м.н.с; (8-831) 436-03-61, fox-off@mail.ru

**Смирнова Валентина Михайловна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент; 8-930-81-34-941

**Ивашкин Евгений Геннадьевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, проректор по учебной работе, канд. техн. наук, доцент; (8 -831) 436-93-24, ieg@nntu.nnov.ru

**Шарыгина Оксана Николаевна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева», магистрант; (8-831) 436-03-61, ftmet@nntu.nnov.ru

## **ЭКОНОМИКА, ИННОВАЦИИ И МЕНЕДЖМЕНТ**

**Вяткин Андрей Викторович** - Нижегородское открытое акционерное общество "Гидрогомаш", заместитель генерального директора по экономике, начальник экономической службы; 9107979712, vyatkina@mail.ru

**Иванов Алексей Андреевич** - НГТУ им. Р.Е. Алексеева, старший преподаватель, канд. эконом. наук; 9159562777, alexey.iff@yandex.ru

**Иванова Надежда Дмитриевна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доцент, канд. эконом. наук; 9038463930, lavrentievan@yandex.ru

**Корнилов Дмитрий Анатольевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, профессор, д-р. эконом. наук; (831) 436-98-74

**Летягин Михаил Александрович** – РАН-ХиГС, аспирант; 89027884338

**Митяков Евгений Сергеевич** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. эконом. наук; iуao@mail.ru

**Фролова Марина Михайловна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, доцент, канд. экон. наук; fmm13@yandex.ru

## **СОЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ, ИННОВАЦИИ В ОБРАЗОВАНИИ, PR-ТЕХНОЛОГИИ**

**Багаев Алексей Владимирович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, канд. филос. наук, доцент; 8-910-399-37-28, alex.bagaev@rambler.ru

**Шелеп Игорь Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, старший преподаватель; ladmark@yandex.ru

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУКАХ**

**Ерлыкина Елена Ивановна** – НижГМА, заведующий кафедрой, д-р биол. наук, профессор; 8(831) 465-54-51, e-erlyk@yandex.ru

**Колпашиников Валерий Павлович** – ООО «Смоуквент», директор; (831) 413-81-76; эл.почта: crass1984@mail.ru

**Красильников Дмитрий Евгеньевич** - Инспекция ФНС России по Канавинскому району г. Н. Новгорода, старший государственный налоговый инспектор; (831) 245-86-96

**Мошкова Альбина Николаевна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д-р биол. наук, профессор; 8(831) 436-63-93, 8(831) 436-82-45, anmoshkova@mail.ru

**Тежикова Надежда Петровна** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева, начальник отдела информационных систем; +7(905) 865-89-53, tejikova@nntu.nnov.ru

**Хватова Елена Михайловна** – НижГМА, профессор-консультант кафедры, д-р мед. наук, 8(831) 465-41-01

## ПРИНИМАЕМ В ПЕЧАТЬ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ В ЖУРНАЛ «ТРУДЫ НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»

*Адрес редакции: 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24*  
*Тел. 8 312 4367372*  
*E-mail: [rio@nntu.nnov.ru](mailto:rio@nntu.nnov.ru)*

### **ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, НАПРАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ**

- В редакцию направляют **два экземпляра** статьи, отпечатанных на лазерном принтере на белой бумаге формата А4, с одной стороны листа, через один интервал 12 кеглем. Сноски и примечания 10 кеглем. Поля: левое, правое и нижнее – 20 мм, верхнее – 25 мм.
- Желательно, чтобы объем статьи не превышал 10 страниц текста и 4–6 рисунков. Все страницы должны быть пронумерованы. Минимальное количество страниц – 6.
- Статью необходимо сопроводить актом экспертизы, выпиской из заседания кафедры, рекомендующей статью к опубликованию, сведениями об авторах и рецензией.
- Статья должна быть подписана **всеми авторами**.
- Текст набирают без переносов, используя формат **Word for Windows** и стандартные шрифты **Times New Roman** и **Symbol**.
- Формульные выражения выполняют строго в редакторе MS Equation 3 – 12 кегль. Размерность физических величин должна соответствовать системе СИ.
- Первая страница статьи должна содержать следующую информацию: УДК (код по универсальному десятичному классификатору); инициалы и фамилии авторов (в таком порядке); название статьи; место работы всех авторов (полное название организации, город); аннотацию; ключевые слова (не более 10).
- Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным. Рекомендуется следующая структура статьи: вводная часть с обоснованием необходимости и изложением цели работы, теоретический анализ, методика, экспериментальная часть, результаты и выводы (не более 0,5 страницы), библиографический список.
- Сокращение слов, кроме общепринятых, не допускается.
- Таблицы (11 кегль жирный) должны иметь названия, их следует располагать по тексту статьи, ссылки на таблицы (табл. 1).
- Диаграммы выполняются в формате Excel.
- Графический материал (только в черно-белом изображении) должен быть четким и не требовать перерисовки. Изображение выполняется в формате **jpf** или **tif** с разрешением 300 **dpi**. Рисунки выполняются по ГОСТ, подрисуночная подпись 11 жирный кегль.
- К статье следует приложить CD с файлами: текста статьи с библиографией на русском языке; **фамилиями авторов, названием статьи, информацией о месте работы всех авторов, аннотацией и ключевыми словами на английском языке**.
- В сведениях об авторах следует сообщить: ФИО (полностью), место работы, должность, ученую степень и звание, телефон и адрес электронной почты.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАПИСАНИЮ АВТОРСКИХ РЕЗЮМЕ

(АННОТАЦИЙ, РЕФЕРАТОВ К СТАТЬЯМ)

Авторский реферат на английском языке должен быть понятен без ссылки на саму статью. Это краткое точное изложение содержания документа, включающее основные фактические сведения и выводы описываемой работы. Объем не менее 10 строк (100–250 слов – 850 знаков). Реферат включает: 1) предмет, тему, цель работы; 2) метод или методологию проведения работы; 3) результаты и область их применения; 4) выводы. Таблицы, формулы, рисунки (нумерация в реферате может не совпадать с текстом статьи) включаются, если раскрывают основное содержание документа и позволяют сократить объем реферата.

Реферат можно начать с изложения результатов работы и выводов. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте реферата. Следует применять терминологию, характерную для иностранных специальных текстов, избегать терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных слов. Текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» (consequently, moreover, for example, the benefits of this study, as a result). Необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т.е. «The study tested», но не «It was tested in the study».

Авторское резюме из International Journal of Operations & Production Management. V.22.N 8

**B. Meijboom, M. Houtepens**

### STRUCTURING INTERNATIONAL SERVICE OPERATIONS: A THEORETICAL FRAMEWORK AND A CASE STUDY IN THE IT-SECTOR

**The name of organization**

**Purpose:** The specific challenges with which companies pursuing international manufacturing strategies are faced, if their output also contains a service dimension, are addressed.

**Design/methodology/approach:** A theoretical framework is proposed based on three virtually complementary perspectives by integrating international production, demand, and contemporary ICT-based theory. Subsequently, an exploratory case study in a pure service environment is described that illustrates the value of the framework.

**Findings:** It is possible, for example, to apply the theoretical framework to case studies in internationally-operating companies delivering a mix of goods and services.

**Research limitations/implications:** The present study provides a starting-point for further research in the international manufacturing sector.

**Originality/value:** Moreover, the framework has proven to be useful in improving the European structure of the case company. This is a notable and promising side-effect of the exploratory study, at least from a managerial point of view.

*Key words:* multinationals, service operations, location, decision making, case studies.

**ТРУДЫ**  
**НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО**  
**ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**  
**им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

**№ 1 (103)**

**Редакторы: Н.Н. Максимова, О.В. Пугина**  
**Технический редактор Т.П. Новикова**

*Редакция:*  
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24.  
rsl@nntu.nnov.ru

Подписано в печать 06.03.2014. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 40,5. Уч.-изд. л. 37,0. Тираж 300 экз. Заказ

---

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.  
Типография НГТУ.  
Адрес университета и полиграфического предприятия:  
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.



Индекс 44757

10312

Объединенный каталог «Пресса России»