

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

**ТРУДЫ НГТУ  
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

*Журнал издается с 2010 года*

**№ 1 (116)**

**Нижний Новгород 2017**

УДК 050(06)  
ББК 9я54  
Т 78

Т 78 Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2017. №1(116).  
– 185 с.

*Выходит 4 раза в год*

**Главный редактор С.М. Дмитриев**

#### **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Н.Ю. Бабанов (зам. гл. редактора), В.В. Беляков (ответственный секретарь),  
О.В. Пугина (отв. редактор), А.В. Крылова (гл. редактор выпуска)

**Члены редколлегии:** В.Г. Баранов, Г.Я. Вагин, В.Д. Вавилов, В.М. Галкин,  
А.М.Groшев, А.А. Куркин, А.Б. Лоскутов, А.Ю. Панов, А.Е. Хробостов

#### **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

**Председатель**

**Федор Михайлович Митенков**

(академик РАН, д. физ.-мат. н., проф.,  
советник директора «ОКБМ Африкантов» по научным вопросам)

**Заместитель председателя**

**Сергей Михайлович Дмитриев**

(д. т. н., проф., ректор НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

**Ответственный секретарь**

**Владимир Викторович Беляков**

(д. т. н., проф., начальник УНИИИР)

#### **ЗАРУБЕЖНЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА**

**Пелиновский Дмитрий Ефимович**

PhD, проф. математики, Университет Мак Мастер,  
Гамильтон, Онтарио, Канада

**Палкович Ласло**

Проф. Сечени Иштван Университет, Дьёр, Венгрия

**Варлаки Петер**

Проф. Сечени Иштван Университет, Дьёр, Венгрия

**Виджай Кумар Чакка**

PhD, проф., Университет Шив Надар, Индия

**Ялцинер Ахмет Джевдет**

д., проф., METU, директор OERC, Турция

#### **ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА**

**Гуляев Юрий Васильевич**

член Президиума РАН, академик, д. физ.-мат. н., проф.,  
научный руководитель ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова

**Гринберг Руслан Семенович**

член-корр. РАН, д. эк. н., проф.,  
научный руководитель Института экономики РАН

**Митяков Сергей Николаевич**

Академик РАЕН, член президиума РАЕН,  
действительный член АИН им. А.М. Прохорова,  
д. физ.-мат. н., проф., директор ИНЭУ НГТУ

**Куркин Андрей Александрович**

д. физ.-мат. н., проф., зав. кафедрой ПМ

**Кондратьев Вячеслав Васильевич**

член-корр. РАН, д. т. н., проф.,  
зав. кафедрой ВСТ НГТУ

**Рындык Александр Георгиевич**

д. т. н., проф., зав. кафедрой ИР НГТУ

**Раевский Сергей Борисович**

д. т. н., проф.

**Кошелев Олег Сергеевич**

д. т. н., проф., зав. кафедрой МТКОДСП НГТУ

**Кулепов Виктор Федорович**

д. т. н., проф., директор ДПИ (филиал НГТУ)

УДК 050(06)  
ББК 9я54

Электронная версия журнала:  
<http://www.nntu.ru/content/trudy/>

Свидетельство о регистрации  
периодического печатного издания:  
ПИ № ФС 77-56417

© Нижегородский государственный технический  
университет им. Р.Е. Алексеева, 2017

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION  
FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL INSTITUTION  
OF HIGHER EDUCATION  
NIZHNY NOVGOROD STATE TECHNICAL UNIVERSITY  
n. a. R.E. ALEXEYEV**

**TRANSACTIONS  
of NNSTU n.a. R.E. ALEXEYEV**

*Published since 2010*

**№ 1 (116)**

**Nizhny Novgorod 2017**

*The journal is issued 4 times a year*

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

**EDITORIAL BOARD**

N.Y. Babanov (Deputy Editor-in-Chief), V.V. Belyakov (Executive Secretary),  
O.V. Pugina (Executive Editor), A.V. Krylova (Executive Editor),

**Members of Editorial Board:** V.G. Baranov, G.Y. Vagin, V.D. Vavilov, V.M. Galkin,  
A.M. Groshev, A.A. Kurkin, A.B. Loskutov, A.Y. Panov, A.E. Khrobostov

**EDITORIAL COUNCIL**

**Chairman**

**Fedor Mikhailovich Mitenkov**

Member of Russian Academy of Sciences  
Adviser to the Head of OAO I.I. Afrikantov OKB Mechanical Engineering  
Doctor of physical and mathematical sciences, professor  
(Nizhny Novgorod, Russia)

**Vice-chairman**

**Sergei Mikhailovich Dmitriev**

Doctor of technical sciences, professor  
Rector of NNSTU (Nizhny Novgorod, Russia)

**Executive Secretary**

**Vladimir Viktorovich Belyakov**

Doctor of technical sciences, professor  
Head of NNSTU Research and innovative works office  
(Nizhny Novgorod, Russia)

**Foreign members of Editorial council**

*Dmitri Efimovich  
Pelenovski*

PhD, Doctor of mathematical sciences, professor  
McMaster University (Ontario, Canada)

*Laszlo Palkovics*

The Széchenyi István University (Győr, Hungary)

*Peter Varlaki*

The Széchenyi István University (Győr, Hungary)

*Vijay Kumar Chakka*

PhD, Doctor of philosophical sciences, professor  
Shiv Nadar University (India)

*Yalciner Akhmet Cevdet.*

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)

*Mitiakov Sergei Nikolaevich*

Doctor of physical and mathematical sciences, professor  
NNSTU (Nizhny Novgorod, Russia)

*Kurkin Andrey Aleksandrovich*

Doctor of physical and mathematical sciences, professor  
NNSTU (Nizhny Novgorod, Russia)

*Kondratev*

*Viacheslav Vasilevich*

Associate member of the Russian Academy of Sciences,  
Doctor of technical sciences, professor  
NNSTU (Nizhny Novgorod, Russia)

*Ryndyk Alexander Georgievich*

Doctor of technical sciences, professor  
NNSTU (Nizhny Novgorod, Russia)

*Raevski Sergei Borisovich*

Doctor of technical sciences, professor  
NNSTU (Nizhny Novgorod, Russia)

*Koshelev Oleg Sergeevich*

Doctor of technical sciences, professor  
NNSTU (Nizhny Novgorod, Russia)

*Kulepov Viktor Fedorovich*

Doctor of technical sciences, professor  
NNSTU (Nizhny Novgorod, Russia)

*Electronic version of the journal:  
<http://www.nntu.ru/content/trudy/>*



*Ушёл из жизни выдающийся учёный Фёдор Михайлович Митенков, научный руководитель образовательно-научного института ядерной энергетики и технической физики (ИЯЭ и ТФ) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева*

**Федор Михайлович Митенков** родился 25 ноября 1924 года в селе Ключи Саратовской области, в 1941 году с отличием окончил среднюю школу и поступил в Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского. С 1942 по 1945 гг. – участник Великой Отечественной войны.

По окончании обучения Ф.М. Митенков был направлен в город Горький, на Артиллерийский завод им. И.В. Сталина в Особое конструкторское бюро (ОКБ), где прошёл путь от инженера-расчётчика до многолетнего (1969–1997 гг.) директора и Генерального конструктора Опытного конструкторского бюро машиностроения (ныне – АО «ОКБМ «Африкантов»).

Являясь известным ученым, заслуженным деятелем науки и техники РФ, руководителем работ по выполнению масштабных планов в области атомного энергетического машиностроения, Ф.М. Митенков внёс значительный вклад в разработку и создание ядерных реакторов для атомных ледоколов, реакторных установок для подводных лодок и кораблей ВМФ, а также реакторов на быстрых нейтронах. Он принимал непосредственное участие в подготовке «Стратегии развития атомной энергетики России в первой половине XXI века».

Большой личный вклад Ф.М. Митенкова в развитие отечественной и мировой атомной энергетики отмечен присуждением ему в 2004 году престижной Международной премии «Глобальная энергия» «за разработку физико-технических основ и создание энергетических реакторов на быстрых нейтронах».

Ф.М. Митенков вёл активную работу по подготовке кадров для атомной отрасли. Он являлся инициатором создания, одним из основателей и ведущих преподавателей (с 1968 года – профессор) физико-технического факультета (ныне – ИЯЭ и ТФ) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, имеет 48 авторских свидетельств на изобретения. является автором и соавтором более 300 научных публикаций и докладов. Под его научным руководством защищены 14 докторских и 55 кандидатских диссертаций. Ф.М. Митенков активно влиял на научную политику атомной отрасли. В качестве действительного члена РАН он неоднократно представлял российскую науку на различных международных конференциях, симпозиумах и встречах.

Ф.М. Митенкову присвоено звание Героя Социалистического Труда (1978), присуждена Ленинская премия (1982), Государственные премии СССР (1969) и РФ (1998). Он награжден орденами «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2005), Ленина, Октябрьской Революции, Отечественной войны II степени, многими медалями.

Фёдор Михайлович Митенков вошёл в историю как один из выдающихся деятелей атомной науки и техники и организаторов производства, добрая память о нем навсегда сохранится в наших сердцах.



**Митенков Федор Михайлович,**  
научный руководитель ИЯЭ и ТФ  
с 2008 по 2016 гг.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ.....</b>	<b>11</b>
Дмитриева Н.Г. Методологические модели управления информационным обеспечением.....	11
Дубик Е.А. Динамика инвестиций Нижегородской области.....	23
Панов А.Ю., Умяров С.Х., Трофимов С.М. Управление рисками: от теории игр до создания морского судна.....	29
Мошкова А.Н., Сергеева Т.Ф., Щитова Д.В. Статистический анализ интенсивности свободнорадикального окисления в нервной ткани при ишемии разной экспозиции.....	36
Шашкова Н.В. Репутационный потенциал в контексте управления социальными системами.....	41
Ерофеева Л.Н., Мохнина Н.В., Юрова Н.В. Некоторые вероятностные характеристики логистической модели.....	47
Фазлиев Д.Н., Нефёдов А.А., Дымчаков И.И. Расширение возможностей информационных систем с помощью модуля WORKFLOW.....	51
Довнар С.С., Скудняков Ю.А., Гурский Н.Н. Программно-техническое обеспечение распознавания и мониторинга мобильных объектов.....	57
Супруненко А. В. Определение устойчивости равновесных состояний в теоретико-игровой модели сети доверия.....	63
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ.....</b>	<b>69</b>
Исаев А.В., Исаев В.В., Жирнова Т.А., Михаленко М.Г. Кинетические особенности катодного осаждения никеля и влияние на них ультрадисперсных алмазов.....	69
Сидоров А.Ю., Десятников В.Е., Коробов Д.В. Комплексные исследования трубопроводов первого контура судовых реакторных установок неразрушающими методами контроля.....	76
Чивенков А.И., Вихорев Н.Н., Трофимов И.М., Гедифа А. Физическая модель Smart grid.....	83
Гардин А.И., Логачев А.Е. Универсальный стенд по изучению автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии.....	90
Садиков Д.Г., Титов В.Г., Умяров Д.В. Разработка алгоритма управления каскадным многоуровневым преобразователем частоты.....	98
Капустин С.А., Малахов В.А., Малышев Г.С., Раевский А.С. Расчет коэффициента дисперсии волоконного световода на основе результатов измерения профиля показателя преломления заготовки.....	107
Безносов А.В., Бокова Т.А., Зудин А.Д., Козлов А.А., Мелузов А.Г., Новожилова О.О. Экспериментальное исследование и отработка насосов для перекачки свинцового и свинец-висмутного теплоносителя для ядерных установок.....	117

---

<b>Дмитриев С.М., Добров А.А., Иксанова Г.Ш., Мартынова К.А., Хробостов А.Е.</b> Расчётное исследование локальной гидродинамики потока теплоносителя во входном участке ТВС реакторной установки Ритм-200.....	129
--	-----

<b>МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ: ТЕОРИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРОИЗВОДСТВО .....</b>	<b>135</b>
---	------------

<b>Кириков С.В., Бердник О.Б., Царёва И.Н.</b> Определение работоспособности материала рабочих лопаток из сплава ЭП800ВД методами количественной оценки морфологических параметров интерметаллидной фазы.....	135
---	-----

<b>Нефёдов А.А., Фазлиев Д.Н., Кретинин О.В.</b> Исследование возможностей интеграции PDM/CAM систем.....	141
---	-----

<b>Москвичев А. А., Кварталов А.Р.</b> Управление контактным взаимодействием стружки с режущим инструментом.....	148
--	-----

<b>Фролова И.Н., Пантелеев И.О., Сахаровский С.К.</b> Структурирование параметров режущего инструмента для систем автоматизированного проектирования технологических процессов.....	155
---	-----

<b>Крюков О.В.</b> Аналитические модели транспорта газа.....	161
--	-----

<b>Зеленов С.Н., Семашко П.В.</b> Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик газового счетчика.....	174
--	-----

## CONTENTS

<b>INFORMATICS AND MANAGEMENT IN TECHNICAL AND SOCIAL SYSTEMS....</b>	<b>11</b>
<b>Dmitrieva N.G.</b> Methodologies enterprise content management.....	11
<b>Dubik E.A.</b> Investments dynamics of the Nizhny Novgorod region.....	23
<b>Panov A.U., Umiarov S.H., Trofimov S.M.</b> Risk management: from theory of the games to the marine vessel.....	29
<b>Moshkova A.N., Sergeeva T.F., Schitova D.V.</b> Statistical analysis of the intensity of free radical oxidation in nerve tissue in ischemia of different exposure.....	36
<b>Shashkova N. V.</b> Reputational potential in the context of management of social systems.....	41
<b>Erofeeva L.N., Mokhnina N.V., Yurova N.V.</b> Some probability characteristics of logistis model.....	47
<b>Fazliev D. N., Nefedov A. A., Dymchakov I.I.</b> Empower information systems using workflow.....	51
<b>Dovnar S.S., Skudnyakov Y.A., Hurski N.N.</b> Software and technical support for the recognition and monitoring of mobile objects.....	57
<b>Suprunenko A. V.</b> Search for the equilibria in game-theoretical model of web of trust.....	63
 <b>ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES.....</b>	 <b>69</b>
<b>Isaev A.V., Isaev V.V., Zhirnova T.A., Mikhaleenko M.G.</b> Kinetic features of cathodic deposition of nickel and the influence of ultradispersed diamonds.....	69
<b>Sidorov A. YU., Desyatnikov V. Y., Korobov D. V.</b> A comprehensive study of the pipelines of the primary circuit of the su-dovich reactor installations of non-destructive methods.....	76
<b>Chivenkov A.I., Vikhorev N.N., Trofimov I.M., Gedifa A.</b> Physical model of Smart grid..	83
<b>Gardin A. I., Logachev A. E.</b> Uniwersalny stand for the study automated systems of control and accounting of electricity.....	90
<b>Sadikov D., Titov V., Umarov D.</b> Development the algorithm of control of the cascade multilevel inverter.....	98
<b>Kapustin S.A., Malahov V.A., Malyshev G.S., Raevskiy A.S.</b> Calculation of dispersion coefficients of optical fibers based on measurements refractive index profile perform.....	107
<b>Beznosov A.V., Bokova T. A., Zudin A. D., Kozlov A. A., Belousov A. G., Novozhilova O. O.</b> Experimental investigation and testing of pumps for pumping lead and lead-bismuth coolant for nuclear plants.....	117
<b>Dmitriev S.M. , Dobrov A.A. , Iksanova G.Sh., Martynova K.A., Khrobostov A.E.</b> Numerical study of coolant hydrodynamics in inlet nozzle of ritm-200 nuclear reactor fuel assembly.....	129

**MECHANICAL AND TRANSPORT: THEORY, TECHNOLOGY, PRODUCTION.....**

<b>Kirikov S.V., Berdnik O.B., Tsareva I.N.</b> Determining the health of the alloy material of rotor blades EP800VD methods of quantitative evaluation of morphological parameters of intermetallic phases.....	135 141
<b>Nefedov A. A., Fazliev D. N., Kretinin A. V.</b> The study of integration PDM/CAM systems	
<b>Moskvichev A. A., Kvartalov A.R.</b> The management of contact interaction of the chips with the cutting tool.....	148
<b>Frolova I.N. , Panteleev I.O., Sakharovsky S.K.</b> Structuring of the cutting tool parameters for computer-aided design of technological processes systems.....	155 161
<b>Kryukov O.V.</b> Analytical models of gas transport.....	
<b>Zelenov S.N., Semashko P.V.</b> An experimental study of the aerodynamic characteristics of gas counter.....	174

# ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

УДК 004.414.38

Н.Г. Дмитриева

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматриваются методологические модели управления информационной инфраструктурой предприятия, обеспечивающие стратегическое управление бизнес-процессами на протяжении их жизненного цикла. Приводятся модели информационной политики предприятия и спецификации информационных требований пользователей.

*Ключевые слова:* архитектура предприятия, ИТ-менеджмент, *ASL, BISL, COBIT, ITIL*, модель информационной политики, управление требованиями.

### Введение

Комплексная автоматизация современного научно-производственного предприятия охватывает процессы жизненного цикла изделия, осуществляемого в едином информационном пространстве, которое формируется с использованием архитектурного подхода. Архитектура предприятия – это общая модель, которая объединяет его организационные и производственные процессы с информационными технологиями, исходя из общего стратегического плана развития предприятия. Объекты архитектуры предприятия: архитектура бизнеса и архитектура технических решений (системная архитектура) используются для анализа, планирования и управления его деятельностью в соответствии с корпоративными миссией и стратегией (рис. 1) [1].



Рис. 1. Компоненты и объекты дисциплины архитектуры предприятия

Архитектура бизнеса отражает предметные области: процесс, информацию и производительность. Системная архитектура включает программное обеспечение, данные, инфраструктуру информационных технологий и концентрируется на важности удовлетворений потребностей бизнеса. Объединение этих архитектурных инфраструктур на основе общих стратегических прогнозов предприятия является главной целью архитектуры предприятия.

Дисциплина архитектуры предприятия касается практически тех же объектов, что и дисциплина архитектуры решений, но в другом контексте. Контекст архитектуры предприятия целостный, его перспектива организационная, тогда как архитектура решений зависит от реализации [2].

### Области управления информационными технологиями

Области управления информационными технологиями в соответствии с моделью Лойена и Делена (рис. 2) [3]:

- управление информационно-технологической инфраструктурой,
- управление приложениями,
- управление бизнес-информацией.

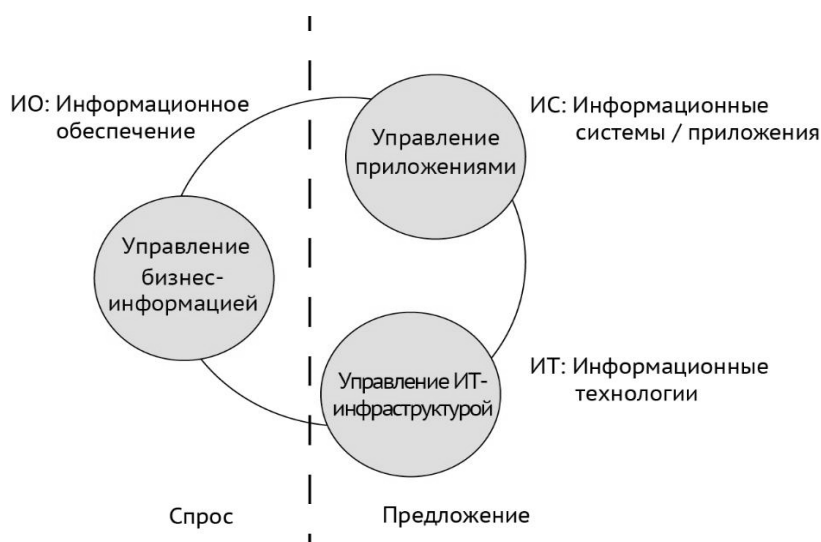


Рис. 2. Области управления информационными технологиями

Под управлением бизнес-информацией со стороны организации-пользователя подразумевается управление функциональными возможностями информационного обеспечения и поддержка пользователей. Эта область управления выступает в качестве владельца и заказчика информационного обслуживания.

Управление приложениями включает управление приложениями и базами данных. Цель - управление информационными системами (приложениями) и поддержка процесса их эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла приложения.

Управление инфраструктурой отвечает за управление эксплуатацией информационных систем, в том числе за работу оборудования, сопровождение соответствующих программных продуктов и данных. Основная задача состоит в создании и поддержании в работоспособном состоянии приложений и инфраструктуры, на которой они исполняются.

Информационное обслуживание бизнеса регламентируется в рамках регулярного ИТ-менеджмента и состоит в предоставлении информационных сервисов (ИТ-сервисов) заданного качества подразделениям предприятия. Объектами ИТ-менеджмента являются:

- инфраструктура;
- приложения;
- организационная структура.



### Цикл управления информационными сервисами

Департамент ИТ предприятия организует свою работу по функциональным направлениям в соответствии с жизненным циклом информационных систем (ИС) и технологий.

Модель жизненного цикла ИС – комбинация последовательности этапов жизненного цикла и переходов между ними, необходимых для гарантированного достижения поставленной для реализации проекта цели. Фазы жизненного цикла для различных отраслей деятельности одинаковы [4]:

- замысел (планирование проекта);
- анализ и постановка задачи;
- проектирование;
- разработка;
- развертывание и внедрение;
- эксплуатация;
- поддержка;
- модернизация;
- утилизация.

Основными моделями жизненного цикла ИС, определяющими правила и условия перехода на следующую стадию, являются: каскадная модель, спиральная, цикл Шухарта-Деминга.

Цикл Шухарта-Деминга, являясь прообразом спиральной модели жизненного цикла, стал классическим циклом управления (*PDCA*-цикл). Этот алгоритм управления предполагает четыре основных шага «Планирование – Действие – Проверка – Корректировка» и помимо стандартной области применения в менеджменте предприятия может использоваться в управлении внедрением и развитием информационных систем и сервисов.

Его особенность – этап планирования может начинаться как при первичном проектировании системы, так и при старте ее модернизации, когда вновь необходимо пройти все этапы жизненного цикла системы.

Работа департамента ИТ в соответствии с *PDCA*-циклом организуется по следующим функциональным направлениям:

- планирование и организация;
- разработка, приобретение и внедрение;
- предоставление и сопровождение ИТ-сервиса;
- мониторинг [5].

На этапе планирования ИТ-сервиса функциональность согласовывается со стратегией, стандартами и планами в рамках поддержки выполнения определенных бизнес-процессов. На этапе разработки и внедрения функциональность ИТ-сервиса обеспечивается всеми функциями направления разработки и внедрения. На этапе эксплуатации ИТ-сервиса функциональность обеспечивается управлением данными, оборудованием, системным программным обеспечением и поддержкой конечных пользователей. Функции мониторинга – соблюдение условий соглашений между заказчиком и службой ИС, с одной стороны, и службой ИС и внешними поставщиками с другой.

### Информационное обеспечение цикла управления информационными сервисами

Сложность управления информационной инфраструктурой предприятия определяется постоянными изменениями окружающей среды, появлением новых целей бизнеса и новых технических решений. Изменения во внешнем и внутреннем окружении требуют изменения процессов управления для обеспечения соответствия новым требованиям множества участников, вовлеченных в создание и использование ИТ-ресурсов. Контроль соответствия – ключевая функция ИТ-менеджмента. Другая важная функция заключается в предоставлении технологий, на базе которых согласуются интересы всех сторон, вовлеченных в дея-

тельность организации. И вместе они применительно к ИТ-службе составляют цикл планирования и реализации любых управленческих мероприятий внутри нее. Под эффективным управлением подразумеваются наличие четких процессов обслуживания, управление изменениями всех эксплуатируемых систем, решение рутинных задач [6].

Основные компоненты эффективной системы ИТ-менеджмента:

- управление стратегическими и тактическими запросами, поступающими в ИТ-службу от бизнес-подразделений;
- управление портфелем проектов;
- управление программным офисом;
- управление рутинными операциями.

Модель эффективной системы ИТ-менеджмента требует согласования трех факторов: бизнес-задач, стиля управления ИТ-сервисами и целей компании. При этом особое внимание уделяется выработке показателей производительности, ориентированных на бизнес-задачи. Для автоматизации и оптимизации внутренних рабочих процессов ИТ-службы используются информационные системы класса *IT Governance*, поддерживающие лучшие практики ИТ-управления: *ITIL*, *COBIT*, *ASL*, *BISL*.

С позиции общей теории систем ИТ-сервисы являются системообразующими факторами, выполняющими роль управляемых объектов в системе управления информационной инфраструктурой. Выработка управляющих воздействий осуществляется функциональным ИТ-менеджментом, который отражает потребности других подразделений в информационном обеспечении и служит средством управления инфраструктурой и приложениями (рис. 3) [7].

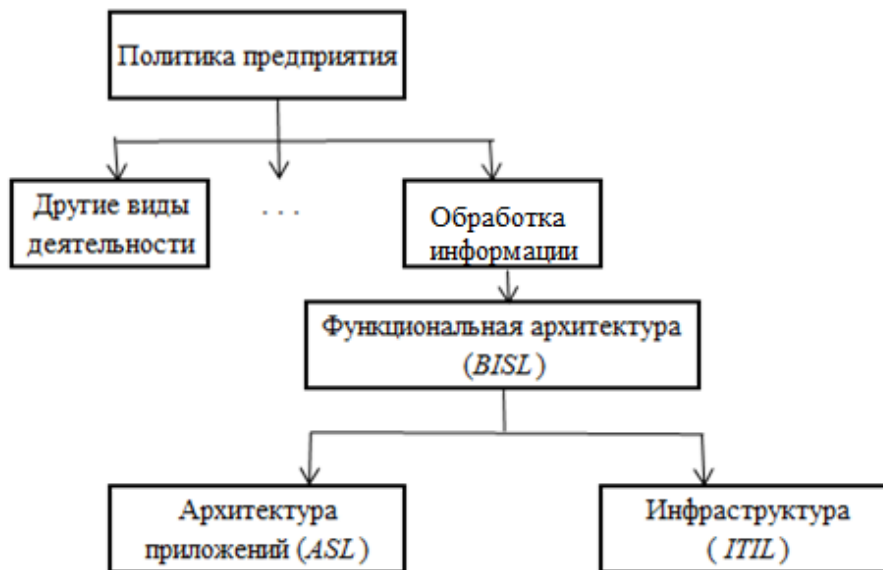


Рис. 3. Функциональное и информационное управление ИТ-сервисами предприятия

Требования к информационному обслуживанию могут формулироваться в процессе формирования соглашения об уровне обслуживания (*service level agreement, SLA*) [7].

Как правило, в *SLA* речь идет о технологических параметрах (например, доступность, производительность приложений и серверов). Параметры качества ИТ-сервиса и результаты их измерения с точки зрения функционального менеджмента должны формулироваться в терминах бизнеса, а не на языке ИТ. То есть должны определять требования к возможностям программного обеспечения (какие услуги программное обеспечение должно предоставлять, какую реакцию демонстрировать в ответ на определенные действия и в определенных ситуациях).

Это следующий «уровень зрелости» в управлении ИТ, характеризующийся ориен-

тацией на бизнес-процессы и максимально тесной увязкой задач бизнеса и возможностей технологической инфраструктуры. Обеспечивается следующими обязательными этапами:

1. Идентификация бизнес-процессов компании (как существующих, так и планируемых) и их требований к ИТ-сервисам;
2. Отображение этих процессов на элементы ИТ-инфраструктуры – сетевые компоненты, серверы, системы хранения и приложения, необходимые для их поддержки. На этом этапе общие требования трансформируются в требования к производительности и доступности конкретных технологических компонентов. Задание метрик для измерения соответствия работы элементов ИТ-инфраструктуры требованиям бизнес-процессов;
3. Мониторинг метрик и отчетность по его результатам. С помощью средств, обеспечивающих измерение заданных параметров качества услуги, накапливаются данные. Они позволяют контролировать достижение уровня обслуживания, определенного в соответствующем соглашении между ИТ-подразделением и бизнесом. ИТ-руководители получают возможность оценивать производительность и эффективность своих процессов и персонала в связи с реальными задачами бизнеса.

### Методики управления бизнес-информацией и приложениями

Методологические рекомендации основных видов деятельности в области ИТ-менеджмента и реализации архитектуры предприятия отличаются по диапазону задач, которые они решают, и подходам, которые используют.

**Business Information Services Library** [8]. Опыт функционального управления накоплен в библиотеке **Business Information Services Library (BISL)**. Это библиотека услуг бизнес-информации. Её использование относится не к предоставлению ИТ-услуг, а к спросу и использованию информации и связанных с ней технологий, т.е. к бизнесу. Спрос и использование находятся в зоне ответственности бизнеса, а предложение, напротив – в зоне ответственности ИТ-отделов и соответствующих организаций. Стратегическая цель управления бизнес-информацией заключается в установлении соответствия между информационными функциями системы и ее контентом, что сводится к атрибуции задач на поле информационной политики, определению контента информационных функций и ИТ-поддержки, позволяя сформулировать соглашения об уровне обслуживания и набор внутрикorporативных правил (рис.3).

**BISL** описывает следующие виды деятельности по управлению бизнес-информацией: как эффективно планировать, собирать, организовывать, использовать, контролировать, распространять и уничтожать бизнес-информацию. Эта информация связана с активным управлением, сопровождением и поддержкой функциональных возможностей информационных систем. Модель процессов **BISL** дает понимание всех основных процессов управления и отношений между ними. В модели **BISL** определены 23 процесса, объединенные в семь кластеров, образующих три уровня процессов управления бизнес-информацией: операционный, управленческий и стратегический.

**Процессы операционного уровня** отвечают за определение требований к информационному обеспечению и осуществление непрерывной поддержки соответствующих бизнес-процессов в информации.

**Управляющие процессы** находятся над операционными процессами. Они соединяют стратегический уровень и операционные процессы, обеспечивая управление использованием информационного обеспечения с точки зрения планирования, рентабельности, потребностей, контрактов и уровней услуг.

**Стратегический уровень** обеспечивает политику будущего информационного обеспечения, формируя стратегию его развития.

Фреймворк **BISL** содержит диаграммы процессов, включающие виды деятельности, потоки данных, интерфейсы и хранилища.

**Application Service Library** [9]. Для управления приложениями может использо-

ваться рамочная модель, определяемая библиотекой услуг приложений *Application Service Library – ASL*. Управление приложением – это управление обслуживанием, расширением и реконструкцией приложений, экономически оправданными, с точки зрения бизнеса, методами. Библиотека на процессном уровне описывает виды деятельности по управлению приложениями на протяжении их жизненного цикла: операционное управление, сопровождение и обновление приложений и документации, включая проектирование и тестирование.

Можно выделить две основные точки зрения на управление приложениями, отраженные в *ASL*. Первая точка зрения – «поддержка бизнес-процессов с использованием информационных систем». Это процессы поддержки приложения, его выполнения и создания условий для повседневной деятельности организации. В практике этот термин означает: обеспечение непрерывности услуг с соблюдением *SLA*; восстановление в наименьшие сроки установленных отклонений от этого соглашения; создание высокого уровня доступности для обращения клиентов по вопросам качества сервисов; превентивная борьба с поломками; продвижение новых сервисов; своевременное реагирование на запросы пользователей. Центром этой работы являются сервисы.

Вторая точка зрения, отраженная в библиотеке *ASL* – это «информационные системы для обеспечения жизненного цикла бизнес – процессов». Она предусматривает усиление приложений в соответствии с текущими и будущими техническими и функциональными требованиями. Процессы, относящиеся к приложению, отвечают за большую часть затрат управления приложениями. *ASL* не предписывает конкретных методик проектирования, разработки приложений, а рекомендует организациям самим выбирать подходящие методы.

Для этих двух подходов существуют операционные, тактические и стратегические процессы. Кроме этого, *ASL* структурирует процессы по шести группам (кластерам), соответствующим этим трем уровням управления.

**Операционные кластеры** поддержки, сопровождения и обновления приложений управляются процессами соответствующего уровня, согласно стратегии развития приложений и стратегии развития организации управления (как услуги). Цель – гарантировать доступность разработанных приложений как услуг и обеспечить актуальное состояние приложений, поддерживающих бизнес-процессы.

**Управленческие процессы:** управления контрактами, планирование и контроль, управление качеством, управление финансами и управление подрядчиками работают на трех уровнях управления: уровне релиза и/или компонентов приложения; уровне всех услуг, касающихся приложения или группы связанных приложений; уровне всех услуг организации, управляющей приложениями. Эти процессы связаны с процессами операционного и стратегического уровней, что обеспечивает долгосрочное соответствие управления приложениями информационной политики предприятия.

**Стратегические кластеры** образуют процессы стратегии развития приложений и стратегии развития организации, управляющей приложениями. В первый кластер входят две группы процессов. *Первую группу* составляют три процесса, позволяющие определить влияние развития информационных технологий, изменений внутренней структуры организации и её внешнего окружения на существующие приложения (портфель приложений). Два процесса *второй группы* на основе полученной информации позволяют определить стратегию развития конкретных приложений и портфеля приложений. Процесс управления портфелем приложений определяет значимость и производительность различных приложений, позволяя преобразовать стратегию компании в объекты информационного обеспечения, а затем разрабатывает стратегию развития этих объектов на перспективу в рамках портфеля приложений.

**Проактивный подход *ASL*.** Важным аспектом подхода *ASL* является проактивный подход к предоставлению ИТ-услуг. Он позволяет предвидеть развитие ситуации и обес-

печивать выявление возможных сценариев работы. В *ASL* проактивный подход реализован на нескольких уровнях управления:

- на уровне политики и стратегии организации управления приложениями, где осуществляется корректировка способов предоставления услуг на ранней стадии, с целью удовлетворения будущих потребностей заказчиков;
- в группе процессов стратегии приложения при создании сценариев приложений, чтобы разрабатывать и актуализировать методы, приводящие к желаемому результату;
- на уровне процессов управления, например, при управлении качеством (в том числе управления проблемами);
- на операционном уровне (в процессе эксплуатации), для осуществления активного взаимодействия всех заинтересованных сторон и предоставления отчетности.

**Использование *ASL*.** Модель и практики *ASL* могут быть использованы как:

- инструмент структурирования деятельности. *ASL* описывает деятельность по управлению приложениями, помогая определить, где и какая работа проводится, а какая не проводится или осуществляется неявно;
- инструмент коммуникаций. *ASL* обеспечивает четкую понятийную основу, давая определение различным понятиям и видам деятельности, обеспечивая взаимодействие между заинтересованными сторонами на основе общей системы понятий;
- инструмент проектирования и внедрения приложений. *ASL* устанавливает систему взаимосвязей между различными видами деятельности, предоставляя инструменты для внедрения приложений, и позволяет использовать накопленный опыт в целом ряде видов профильной деятельности;
- библиотека лучших практик. Помимо структур и концепций библиотека *ASL* содержит лучшие практики, используемые при интерпретации, внедрении и поддержке профильной деятельности, которые можно взять за основу, чтобы разработать собственные процессы управления приложениями.

### Методики управления ИТ-услугами и инфраструктурой

***Control Objectives for Information and related Technology (COBIT)*** [10]. Это рамочная модель, определяющая набор универсальных задач управления ИТ-процессами для контроля за их деятельностью, аудита и предоставления отчетности по метрикам. Он предлагает руководство, помогающее предприятиям руководить и управлять «факторами влияния» (*enablers*), связанными с информацией и ИТ, чтобы достичь целей и, таким образом, создать ценность для заинтересованных сторон. К таким факторам влияния относятся:

- принципы, политики и подходы;
- процессы;
- организационная структура;
- культура, этика и поведение;
- информация;
- услуги, инфраструктура и приложения;
- персонал, навыки и компетенции.

**Сравнение библиотек *BISL* и *COBIT*.** *BISL* и *COBIT* можно рассматривать в качестве взаимодополняющих фреймворков. *COBIT* и *BISL* раскрывают два основных аспекта, необходимых для эффективного управления бизнес-информацией:

- *BISL* – необходимые виды деятельности по управлению бизнес-информацией;
- *COBIT* – управление деятельностью, ресурсами и рисками по получению и производству бизнес-информации.

*BISL* рассматривает меньше «факторов влияния», чем *COBIT*, уделяя большее внимание процессам и видам деятельности в процессах. Каждый фреймворк нацелен на управление деятельностью организации, предоставляющей ИТ-услуги, но *COBIT* сосре-

доточен на управлении деятельностью, в то время как *BISL* – на результатах этой деятельности. *BISL* рассматривает шесть из семи факторов влияния.

Две трети основных методов управления *COBIT* частично относятся к управлению бизнес-информацией. Основное отличие заключается в том, что внимание *BISL* сосредоточено на вопросах спроса и использования и он предоставляет более подробное практическое руководство.

**IT Infrastructure Library (ITIL)** [11]. Для управления инфраструктурой информационных технологий и организации взаимодействия ИТ-организации с пользователями может использоваться библиотека **IT Infrastructure Library (ITIL v.2)**, которая описывает процессный подход к предоставлению и поддержке ИТ-услуг, соответствующий стандарту *ISO 9000*, определяющему требования к системе менеджмента качества организаций и предприятий. Одной из основных целей внедрения *ITIL* является повышение качества оказания ИТ - услуг.

В областях поддержки услуг и предоставления услуг выделяется по пять процессов и одна организационная единица (*Service Desk*- единая точка доступа).

Описанные процессы взаимодействуют с бизнесом на двух уровнях управления: тактическом и операционном. Основное взаимодействие осуществляется через единую точку доступа *Service Desk*.

Данная методология предполагает предоставление сервисов на основе предварительной договоренности, которая выражается соглашением об уровне услуг (*SLA*). Контроль над уровнями услуг может основываться на процессе управления уровнем сервиса (*SLM- Service Level Management*), реализуемым Управлением уровнем услуг. Разрабатываются предложения об Уровне услуг, в которых отражаются вопросы доступности определяемых услуг, поддержки пользователей, реализации запросов на изменения и стоимость. На основе этого разрабатывается Соглашение об уровне услуг (*SLA*). Такое представление взаимодействия между бизнесом и ИТ дает возможность унифицировать представления процессов вне зависимости от формы организации ИТ.

Изменение услуги обрабатывается в рамках процесса Управления изменениями (*Change Management*) при поступлении запроса на изменение (*RFC - Request For Change*). Пользователи контактируют с ИТ службой в основном через службу *Service Desk*.

**ITIL v.3** расширяет процессную модель, базирующуюся на понятие услуги, и область её применения. Вводятся понятие жизненного цикла услуги, процессы и язык взаимодействия ИТ - организации и бизнеса, модели объектов, возникающих в ходе такого взаимодействия. Любая активность бизнеса, связанная с использованием ИТ – ресурсов, рассматривается как обращение к соответствующей услуге. Непрерывность спектра услуг обеспечивается бизнес-услугами, ИТ-услугами и услугами, обеспечивающими их взаимодействие. Слабая связь означает, что ресурсы и их пользователи разделены, а также то, что одни и те же ресурсы могут динамически прикрепляться к разным пользователям.

**Сравнение библиотек ITIL и BISL.** *BISL* и *ITIL* рассматривают управление бизнес-информацией с разных точек зрения:

- *BISL* принимает точку зрения бизнеса и описывает процессы и виды деятельности, связанные с информационным управлением, которые входят в сферу ответственности бизнеса. Это дает четкое разграничение между бизнес-управлением, пользователями, управлением бизнес-информацией и поставщиками ИТ-услуг;
- *ITIL* стоит на позициях поставщика ИТ-услуг, описывая множество аспектов взаимодействия с бизнесом, важность предоставления ИТ- ценности для бизнеса и некоторые бизнес-роли и обязанности, относящиеся к управлению бизнес-информацией.

В своих рекомендациях *ITIL* не касается управления бизнес-информацией напрямую, рассматривая вместо этого ряд бизнес-задач (требований) в рамках управления ИТ-услугами. Подход *BISL* сосредоточен исключительно на управлении бизнес-

информацией, предполагая, что эта область не входит в круг вопросов управления ИТ-услугами, но обе области управления тесно связаны друг с другом отношениями «спрос – предложение».

В области управления бизнес-информацией *ITIL* описывает только те виды деятельности, которые необходимы для выполнения задач поставщика ИТ-услуг, в то время как *BISL* описывает виды деятельности, которые должны выполняться в самой пользовательской организации. *BISL* охватывает все действия, которые нужно выполнить на стороне спроса для эффективного и результативного получения информации, необходимой бизнес-процессам. Многие из этих действий на стороне спроса не связаны напрямую с ИТ-услугами и, таким образом, не представлены в *ITIL*. Однако *ITIL* рассматривает родственные объекты стратегии обеспечения безопасности, управления данными и определения требований более подробно, чем *BISL*.

*BISL* и *ITIL* могут считаться взаимодополняющими моделями. Совместное их использование выгодно как поставщикам ИТ-услуг, так и пользовательским организациям.

### Управление требованиями к информационному обеспечению

Взаимоотношения областей управления бизнес-информацией и управления приложениями определяются решением следующих задач:

- операционное управление информационным обеспечением (например, разработка спецификаций для определения содержания нового программного обеспечения);
- управление информационным обеспечением и контрактами с поставщиками ИТ-услуг;
- проектирование политики будущего информационного обеспечения.

Целью является определение требований к информации и их преобразование в требования к соответствующим информационным системам и сервисам.

Делегированная ответственность за управление бизнес-информацией реализуется на трех уровнях информационного обеспечения: на уровне корпоративного информационного обеспечения, на уровне бизнес – процесса и на системном уровне.

На корпоративном уровне рассматриваются связи между бизнес-процессами и их информационная поддержка. На уровне бизнес-процесса формируются требования к информации, предъявляемые отдельными бизнес-процессами. На системном уровне рассматриваются специфические требования пользователей к информационным системам.

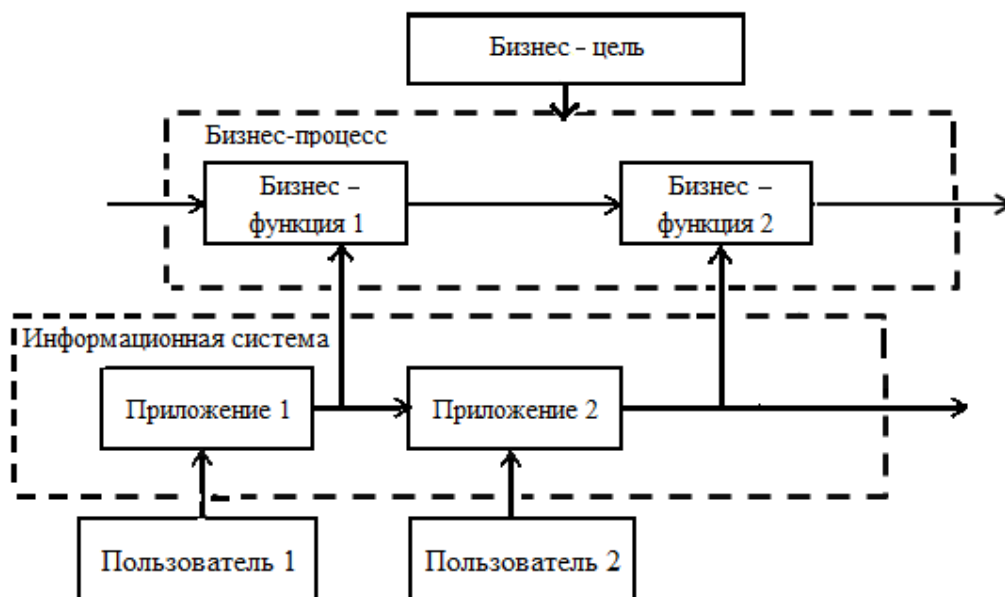


Рис. 4. Информационное обеспечение бизнес-процессов

Разработка модели информационной политики организации находится в зоне ответственности функционального ИТ-менеджмента. Управление приложениями и ИТ-инфраструктурой осуществляет дальнейшую трансляцию этой модели в приложения и инфраструктуру.

Исходными данными для формирования модели информационной политики, определяющей требования к информационным системам, являются артефакты архитектурной деятельности: описание основных бизнес-процессов, связей между стратегическими целями предприятия и бизнес-процессами; связей между приложениями, выполняющими обработку данных, и бизнес-процессами; связей между приложениями и существующими информационными системами.

Основные бизнес-процессы можно условно разделить в зависимости от уровня детализации на бизнес-процессы и бизнес-функции, определяющие совместную деятельность по использованию информации, информационных технологий и инфраструктуры (рис. 4).

Модель информационной политики образуют элементы следующих множеств и отношений между ними:

$G = \{ g_i | i = \overline{1, I} \}$  – множество стратегических целей;

$P = \{ p_j | j = \overline{1, J} \}$  – множество бизнес-процессов;

$F = \{ f_k | k = \overline{1, K} \}$  – множество бизнес-функций, реализуемых бизнес-процессами;

$U = \{ u_l | l = \overline{1, L} \}$  – множество пользователей;

$A = \{ a_m | m = \overline{1, M} \}$  – множество приложений, используемых бизнес-функциями;

$S = \{ s_n | n = \overline{1, N} \}$  – множество информационных систем, поддерживающих приложения;

$D_{\text{вх}} = \{ d_r | r = \overline{1, R_{\text{вх}}} \}$  – множество входных данных информационных систем;

$D_{\text{вых}} = \{ d_r | r = \overline{1, R_{\text{вых}}} \}$  – множество выходных данных информационных систем;

$D = D_{\text{вх}} \cup D_{\text{вых}}$  – полное множество данных информационных систем;

$R_1(G, P)$  – отношение «стратегические цели – бизнес-процессы»;

$R_2(F, P)$  – отношение «бизнес-процессы – бизнес-функции»;

$R_3(F, A)$  – отношение «бизнес-функции – приложения»;

$R_4(S, A)$  – отношение «информационные системы – приложения»;

$R_5(F, U)$  – отношение «бизнес-функции – пользователи»;

$R_6(A, U)$  – отношение «приложения – пользователи»;

$R_7(F, D)$  – отношение «бизнес-функции – данные»;

$R_8(A, D)$  – отношение «приложения-данные»;

$R_9(S, D)$  – отношение «информационные системы – данные».

Формально, модель информационной политики предприятия может быть выражена как  $M = \langle G, P, F, U, A, S, D, R \rangle$ , где  $R = \{ r_z | z = \overline{1, Z} \}$  – множество отношений между элементами множеств  $\{G, P, F, U, A, S, D\}$ .

### Построение модели спецификации информационных требований пользователей

Используя методику построения модели спецификации информационных требований пользователей, изложенную в [12], можно сформулировать следующий алгоритм определения требований к информационным системам:

1. Определение стратегических бизнес-функций для каждого бизнес-процесса на основании анализа отношений  $GP$  и  $FP$ ;



2. Построение отношения  $FS$  – «бизнес-функции – информационные системы» на основании полученной информации и анализа отношений  $FA$  и  $SA$ ;
3. Определение перечня бизнес-функций и поддерживающих их приложений для каждого пользователя на основании анализа отношений  $FU$  и  $AU$ ;
4. Формирование пар  $\langle S R_s S \rangle$ , где  $R_s$  – отношения между информационными системами на основании полученной информации и использования отношений  $FS$  и  $AS$ ;
5. Формирование пар  $\langle S R_d S \rangle$ , где  $R_d$  – отношение принадлежности данных информационным системам на основании анализа отношения  $SD$ ;
6. Совместный анализ отношений  $FD$  и  $AD$  для установления неоднозначности и противоречивости описаний информационных объектов;
7. Формирование бинарных моделей спецификаций для каждого требования пользователя  $RS^l = \langle \eta R \mu \rangle$ , где  $l$  – индекс пользователя,  $R$  – отношение между структурными элементами  $\eta$  и  $\mu$ , образованными элементами множеств  $S = \{s_n | n = \overline{1, N}\}$ ,  $D_{\text{вх}} = \{d_r | r = \overline{1, R_{\text{вх}}}\}$ ,  $D_{\text{вых}} = \{d_r | r = \overline{1, R_{\text{вых}}}\}$  на основании всех полученных результатов.

### Заключение

Модели спецификаций информационных требований пользователей позволяют описать множество характеристик и свойств данных, процедур их обработки и отношений между ними и могут быть использованы для построения ресурсно-сервисной модели управления ИТ-услугами, обеспечивающей поддержку жизненного цикла бизнес-процессов.

### Библиографический список

1. **Темненко, В.** Быть или не быть TOGAF: распространение архитектуры предприятия за пределы RUP. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/r-temnenko/index.html>
2. Malan, Ruth, and Dana Bredemeyer. "Enterprise Architecture as Strategic Differentiator." Cutter Consortium Enterprise Architecture Executive Report. – 2005. – Vol. 8. – No. 6. <http://www.cutter.com/offers/strategic.html>
3. BiSL - A Framework for Business Information Management – 2nd edition [Электронный ресурс]. URL: [https://books.google.ru/books/about/BiSL\\_A\\_Framework\\_for\\_Business\\_Information\\_Management?id=CZJmAwAAQBAJ](https://books.google.ru/books/about/BiSL_A_Framework_for_Business_Information_Management?id=CZJmAwAAQBAJ)
4. **Зараменских, Е.П.** Управление жизненным циклом информационных систем: монография / Е.П. Зараменских. – Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2014. – 270 с.
5. **Долженко, А.И.** Управление информационными системами // INTUIT, 2008.
6. **Мизерник, Д.** IT Governance: эффективное управление ИТ-службой <http://www.osp.ru/os/2005/01/185191/>
7. **Черняк, Л.** Библиотеки передового опыта и парадоксы управления ИТ // Открытые системы. СУБД. 2005. №1.
8. ASL BiSL Foundation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.aslbislfoundation.org/ru/bisl>
9. ASL BiSL Foundation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.aslbislfoundation.org/ru/asl>
10. COBIT an ISACA Framework [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.isaca.org/cobit>
11. Онлайн-сервис AXELOS Global best practice [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.axelos.com/IT-Service-Management-ITIL>

12. **Сиротюк, О.В.** Разработка моделей, методов и инструментальных средств анализа и синтеза оптимальных структур объектно-ориентированных баз данных в автоматизированных информационно-управляющих системах: автореферат / О.В. Сиротюк. – М., 2005. <http://dlib.rsl.ru/viewer/01002930359#?page=1>

*Дата поступления  
в редакцию 12.01.2017*

**N.G. Dmitrieva**

## **METHODOLOGIES ENTERPRISE CONTENT MANAGEMENT**

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

Discusses information management operation methodology to guarantee effective support of business processes, information services during their life cycle, information model and model of the requirement specification of the user.

*Key words:* enterprise architecture, IT Management, ASL, BISO, COBIT, ITIL, information model, requirements management.

УДК 330.332.21

Е.А. Дубик

**ДИНАМИКА ИНВЕСТИЦИЙ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Проанализированы показатели динамики инвестиций в основной капитал Нижегородской области, структура инвестиций в основной капитал по источникам финансирования, по формам собственности, по видам экономической деятельности за период 2000–2014 гг. Выделен фактор позитивного ежегодного изменения инвестиций в основной капитал региона, однако для развития инновационной экономики Нижегородской области необходимо увеличение инвестиций в развитие человеческого капитала путем бюджетных вложений.

*Ключевые слова:* инвестиции в основной капитал, инвестиционные проекты, структура инвестиций, инвестиционные территории, инновационная экономика.

**Введение**

Социально-экономическое развитие и политическая стабильность любого региона во многом связаны с динамикой инвестиций. Инвестиции определяют рост экономики, как отдельного предприятия, так и районов, регионов, округов и страны в целом [1, 2].

**Анализ динамики инвестиций Нижегородской области**

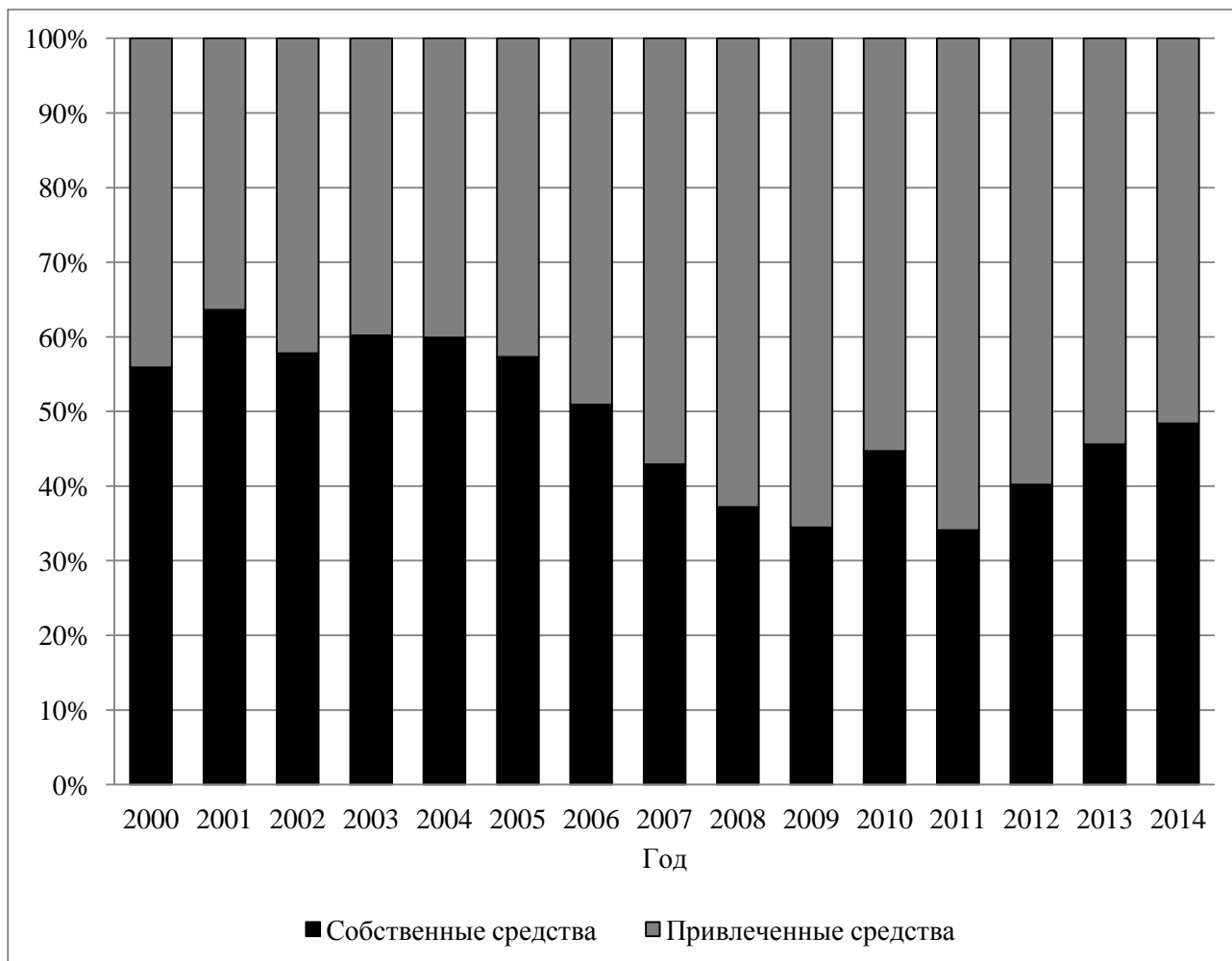
С 2000–2014 гг. объем инвестиций в основной капитал Нижегородской области Приволжского федерального округа России ежегодно увеличивался (исключение 2010 г. к уровню 2009 г.), что подтверждают показатели табл. 1 [3].

*Таблица 1*

**Показатели динамики инвестиций в основной капитал в Нижегородской области за период 2000–2014 гг.**

Год	Инвестиции в основной капитал, млн руб.	Абсолютное изменение по сравнению с предыдущим годом	Коэффициент роста по сравнению с предыдущим годом	Темпы прироста по сравнению с предыдущим годом, %
2000	15383	-	-	-
2001	18218	2835	1,18429	15,56
2002	27593	9375	1,51461	33,98
2003	37399	9806	1,35537	26,22
2004	52205	14806	1,39589	28,36
2005	64581	12376	1,23706	19,16
2006	89272	24691	1,38232	27,66
2007	133189	43917	1,49194	32,97
2008	195642	62453	1,46891	31,92
2009	201692	6050	1,03092	2,99
2010	192072	-9620	0,95231	-5,00
2011	224350	32278	1,16805	14,39
2012	257454	33104	1,14755	12,86
2013	280884	23430	1,09101	8,34
2014	286619	5735	1,02041	2,00

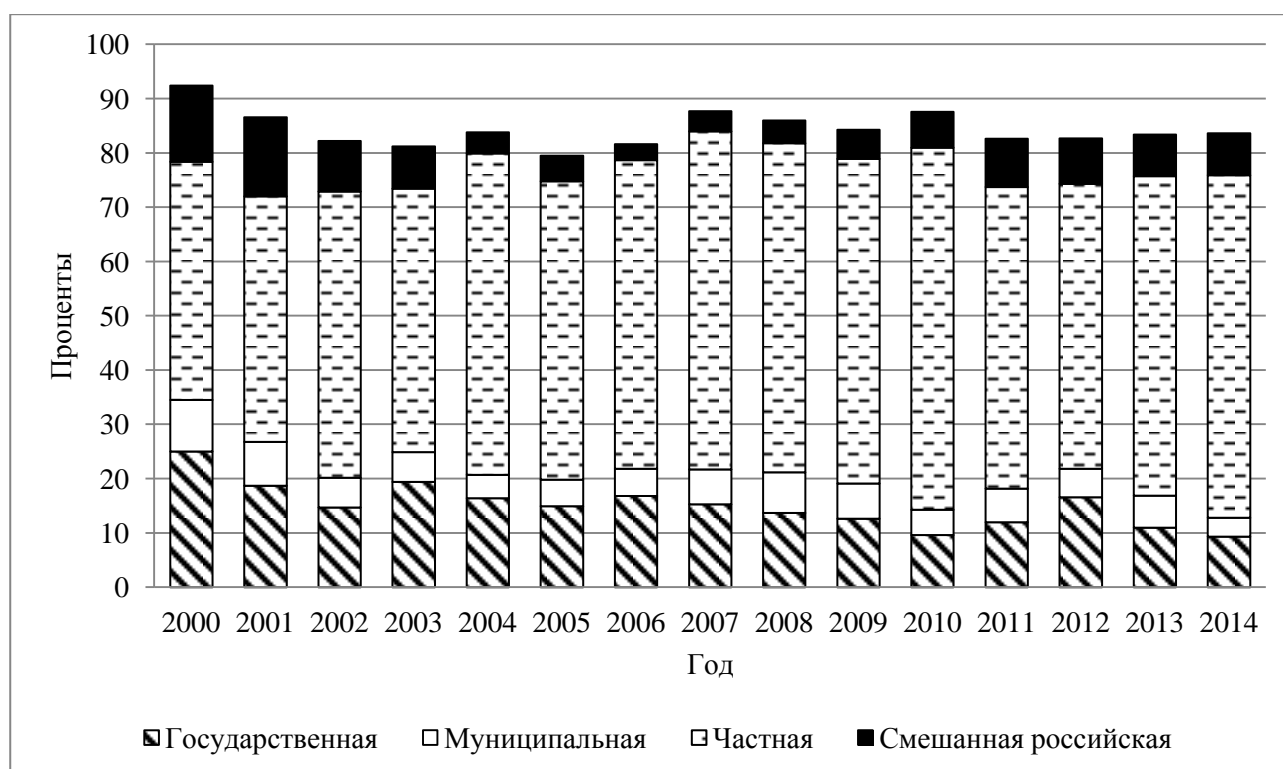
Объем инвестиций в основной капитал Нижегородской области за рассматриваемый период времени увеличивался за счет привлеченных и собственных средств. Собственные средства предприятий до 2007 г. составляли больше половины общего объема инвестиций (рис. 1). С 2007 г. в регион увеличивается поток привлеченного финансирования, при этом в 2014 г. участие бюджета составило 15,2% (из них 8,8% из федерального бюджета и 4,4% из бюджетов субъектов РФ) и 18,7% кредиты банков [3].



**Рис. 1. Структура инвестиций в основной капитал в Нижегородской области без субъектов малого предпринимательства по источникам финансирования за период 2000 – 2014 гг.**

Анализ структуры инвестиций в основной капитал по формам собственности показал, что в Нижегородской области доля инвестиций предприятий частной формы собственности преобладает в общем объеме инвестиций в основной капитал за рассматриваемый период времени (рис. 2). Инвесторам с государственной формой собственности в 2014 г. принадлежало менее 10%.

Проанализируем видовую структуру инвестиций Нижегородской области (табл. 2). Наибольшую долю составляют инвестиции в обрабатывающее производство. За период 2006–2014 гг. доля инвестиций в данный вид экономической деятельности увеличилась на 17,9%. Обрабатывающее производство в области формируют химическая, автомобильная нефтеперерабатывающая промышленность, которые в настоящее время являются привлекательными для инвестирования.



**Рис. 2. Структура инвестиций в основной капитал по формам собственности в Нижегородской области за период 2000–2014 гг.**

**Таблица 2**

**Инвестиции в основной капитал по видам экономической деятельности в Нижегородской области**

Год	2006			2010			2014		
	Млрд руб.	% к общему итогу	% к 2005 г.	Млрд руб.	% к общему итогу	% к 2009 г.	Млрд руб.	% к общему итогу	% к 2013 г.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	4,2	0,6	184,1	3,8	3,3	118,6	5	2,8	125
Добыча полезных ископаемых	0,09	0,15	195,4	0,006	0,005	13,4	0,1	0,06	25
Обрабатывающие производства	18,9	29,4	135,3	47,5	40,8	70,8	84,9	47,3	100,7
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	2,7	4,2	78,0	8,6	7,4	105,2	17,8	9,9	114,1
Строительство	0,8	1,2	114,8	0,7	0,6	92,8	1,5	0,8	100
Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	5,1	8,0	132,3	2,7	2,4	116,3	5,3	2,9	117,8

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Гостиницы и рестораны	0,2	0,3	76,9	0,8	0,7	149,0	0,2	0,09	100
Транспорт и связь	15,7	24,2	123,2	27,0	23,2	113,2	26,9	14,9	98,2
Финансовая деятельность	1,2	1,9	128,3	1,8	1,5	169,6	1,9	1,0	65,5
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	9,3	14,4	140,0	13,1	11,3	83,0	19,4	10,8	102,6
Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование	2,6	4,1	234,3	2,3	2,0	58,8	6,2	3,5	124,0
Образование	1,2	1,8	120,4	2,2	1,8	96,8	4,3	2,4	100
Здравоохранение и предоставление социальных услуг	1,5	2,3	173,1	2,4	2,0	99,2	3,2	1,8	114,3

Крупные реализуемые промышленные инвестиционные проекты Нижегородской области в настоящее время:

- это строительство комплекса по производству поливинилхлорида мощностью 330 тыс. т в год. Компания инициатор ООО «РусВинил». Объем инвестиций составляет 73767 млн руб. Количество рабочих мест – 485;
- строительство комплекса каталитического крекинга вакуумного газойля, техническое перевооружение установки гидроочистки дизельного топлива (компания ООО «Лукойл-Нижегород-нефтеогсинтез», 31688 млн руб. инвестиций, 344 рабочих мест);
- строительство завода по производству средств воздушно-космической обороны (Концерн ПВО «Алмаз-Антей», 32647 млн руб., 3280 рабочих мест);
- строительство завода по производству пеллет (ООО «Джерман Пеллетс Нижний Новгород», 12000 млн руб., 120 рабочих мест);
- строительство воздуходелительной установки (ОАО «Линде Газ Рус», 3500 млн руб., 100 – рабочих мест);
- строительство логистического распределительного инновационного центра сельхозпродукции и товаров народного потребления (ООО «НИОПЦ», 2100 млн руб., 750 рабочих мест);
- реконструкция действующего предприятия и строительство новых корпусов для размещения производства автомобильных комплектующих (ЗАО «Магна Аутомотив Рус», 1700 млн руб., 580 рабочих мест).

Наибольшие вложения после промышленности в экономике региона с 2006–2014 гг. производились в транспорт (более 20% в 2006–2013 гг.) и операции с недвижимым имуществом (более 10%). В 2014 г. незначительными вложениями были в виды экономической деятельности: добыча полезных ископаемых, строительство, гостиницы и рестораны, финансо-

вая деятельность. На их долю приходилось менее 2% всех инвестиций и увеличение инвестиций по отношению к уровню 2006 г. составило менее 50%.

Возрастающий характер носит процесс капитальных вложений в такие отрасли, как: производство и распределение электроэнергии/газа/воды, транспорт и связь, операции с недвижимым имуществом/аренда и предоставление услуг, государственное управление и обеспечение военной безопасности/социальное страхование, образование, здравоохранение и предоставление социальных услуг. Рост в 2014 г. в 3,6 раза и 2,1 раза к уровню 2006 г. инвестиционных средств наблюдается в отрасли образование и здравоохранение.

Инвестиционные проекты (мероприятия) актуализируются в разных муниципальных районах и городских округах (г.о.г.) Нижегородской области в рамках обеспечения благоприятного инвестиционного климата региона. По результатам территориального анализа инвестиций в основной капитал лучшие позиции в 2014 г. имеют промышленные или со смешанным типом производства районы: это г.о.г. Балахна, Арзамас, Дзержинск, Бор, Выкса и Балахнинский, Богородский, Вадский, Городецкий, Кстовский, Кулебакский, Павловский районы с объемом инвестиций более 1 млрд руб. [4]

### Вывод

Проведенный анализ динамики инвестиций Нижегородской области показал негативное влияние на инновационное развитие экономики региона [5, 6]:

- это ежегодное увеличение доли инвестиций предприятий частной формы собственности при снижении удельного веса государственной и муниципальной [7];
- реализуются крупные инвестиционные проекты на территории региона только в отрасли промышленности;
- малая доля инвестиций, направленная на развитие человеческого капитала (образование и здравоохранение, предоставление социальных услуг).

Для обеспечения индикаторов развития инновационной деятельности [8] необходимо увеличение государственных и муниципальных инвестиций в образование и здравоохранение [9].

### Библиографический список

1. **Дубик, Е.А.** Состояние и развитие инвестиционной деятельности отраслей экономики на разных уровнях управления (на примере России, Приволжского федерального округа и Нижегородской области) // *Экономические науки*. – 2012. – №6. – С. 113–117.
2. **Дубик, Е.А.** Инвестиции в человеческий капитал на разных стадиях жизненного цикла / Е.А. Дубик, С.Н. Митяков // *Экономические науки*. – 2013. – №5. – С. 22–26.
3. *Российский статистический ежегодник: сб. стат. / Росстат*. – М., 2015.
4. **Дубик, Е.А.** Развитие промышленных экономических систем на примере Нижегородской области // *Вестник Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова*. – 2013. – №4. – С. 75–78.
5. **Дубик, Е.А.** Инвестиционная деятельность в инновационной экономике России / Е.А. Дубик, Л.Н. Басова // *Труды НГТУ*. – 2015. – №2 (109). – С. 261–270.
6. **Юрлов, Ф.Ф.** Инвестиционная и инновационная деятельность экономических систем на разных уровнях управления: вчера, сегодня и завтра: монография / Ф.Ф. Юрлов, Е.А. Дубик, Н.Г. Котомина; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2012. – 194 с.
7. **Дубик, Е.А.** Инвестирование человеческого капитала в инновационной экономике России / Е.А. Дубик, И.А. Павлова // *Экономика и предпринимательство*. – 2015. – № 9 (ч.1). – С. 989–993.
8. **Дубик, Е.А.** Развитие человеческого капитала в условиях инновационной экономики: моногра-

фия / Е.А. Дубик; Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2014. – 180 с.

9. **Дубик, Е.А.** Оценка эффективности инвестиционной деятельности в экономических системах на разных уровнях управления // Вестник ЧелГУ. – 2013. №8. – С. 32–37.

*Дата поступления  
в редакцию 12.01.2017*

**E.A. Dubik**

## **INVESTMENTS DYNAMICS OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION**

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

In this article the investments dynamics in fixed capital of the Nizhny Novgorod region, the investment structure in fixed capital by sources of financing and ownership forms, types of economic activity over the period 2000-2014 are analyzed. The positive annual changes of the investments in the fixed capital of the region highlighted in the article, however, it is necessary to increase investment in the human capital development through investment budget to develop the Nizhny Novgorod region innovative economy.

*Key words:* investment in fixed capital, investment projects, investment structure, investment areas, innovative economy.



УДК 608.3

А.Ю. Панов<sup>1</sup>, С.Х. Умяров<sup>2</sup>, С.М. Трофимов<sup>2</sup>**УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ: ОТ ТЕОРИИ ИГР ДО СОЗДАНИЯ МОРСКОГО СУДНА**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Акционерное общество "Центральное конструкторское бюро "Лазурит", Н. Новгород<sup>2</sup>

Рассмотрены исторические предпосылки к появлению концепции управления рисками, ее развитие от теории вероятностей до окончательной концепции и использование в различных сферах. Особое внимание уделено управлению рисками при создании морского судна.

*Ключевые слова:* риск, теория игр, риск-менеджмент, риски при создании морского судна, риски проектной деятельности.

*Управление рисками* – явление относительно недавнее. Однако предпосылки к его появлению берут начало из азартных игр, т.е. с незапамятных времен. Изначально игроки делали свои ставки и ходы, исходя из своей интуиции, своих представлений о шансах и рисках, хотя тогда такие понятия еще даже не существовали.

Впервые об азартных играх написал Дж. Кардано в 1565 году в своей книге "Об играх и шансах". В книге были описаны статистические принципы вероятности. Однако книга так и не была издана. В 1657 году была издана книга Гюйгенса о вероятности. В 1662 году в монастыре PortRoyal была издана книга "Логика", в которой последние четыре главы были посвящены азартной игре, где 10 игроков рискуют одной монетой в надежде выиграть монеты остальных игроков.

В 1654 году французский аристократ шевалье де Мере, в равной степени увлекающийся математикой и азартной игрой, предложил знаменитому французскому математику Блезу Паскалю задачу: как следует разделить банк между двумя игроками в неоконченной игре, если один из них явно выигрывает? Эта задача к тому моменту уже давно была известна, ее сформулировал за 200 лет до этого монах Лука Пачиоли, однако решение за эти годы так найдено и не было. Паскаль обратился за помощью к Пьеру де Ферма, и вместе они создали теорию вероятностей, ставшую математической основой теории риска.

Следующей после азартных игр сферой, где возникла потребность в управлении рисками, стало страхование. В 1670 году был опубликован труд Джона Граунта о распределении значений продолжительности жизни людей в возрасте от 6 до 76 лет. Этот труд оказался крайне значимым для статистического управления Великобритании, а в 1693 году Эдмунд Галлей издал труд "Transactions", в котором прокоррелировал зависимость ставок страховых платежей от ожидаемой продолжительности жизни. В 1696 году Эдвард Ллойд основал страховую газету Lloyd'sList, в которой указывалась информация о прибытиях и отправлениях кораблей, погодных условиях за границей и в море, а в дальнейшем - также и о курсе акций, внешних рынках и уровне воды в Темзе. К 1725 году математики уже вовсю соревновались в составлении таблиц ожидаемой продолжительности жизни, а британское правительство на их основе продавало права на пожизненную ренту. В середине XVIII в. в Лондоне сильно развилось страхование мореплавания. В 1703 году Годфрид фон Лейбниц написал Якобу Бернулли, швейцарскому математику, письмо, в котором указал, что "природа установила шаблоны, имеющие причиной повторяемость событий, но только в большинстве случаев". Замечание "но только в большинстве случаев" оказалось крайне важным, ведь оно показывает саму природу риска: если бы все события повторялись, мир бы не изменялся, а рисковать было бы нечем. Это замечание подтолкнуло Бернулли к созданию закона больших чисел и разработке методов статистической выборки, которая широко используется и в наши дни.

В 1730 году Абрахам де Муавр установил форму нормального распределения (кривая

Гаусса) и ввел понятие среднеквадратичного отклонения. Оба этих понятия легли в основу работы Даниила Бернулли (племянника Якоба), где он описал процесс принятия решений. "Удовлетворение от любого малого приращения богатства обратно пропорционально количеству уже имеющегося богатства". Этот закон и в наши дни является основной парадигмой принятия решений при управлении инвестициями.

Американский экономист Гарри Марковиц в 1952 году математически обосновал прямую зависимость, существующую между степенью риска и размером ожидаемой прибыли, и показал, что отклонения прибыли от ожидаемых значений можно сократить путем диверсификации инвестиций[1, с. 15].

Концепция "риск-менеджмента" сформировалась в 1955 году. В дальнейшем эта концепция постоянно совершенствовалась и к настоящему времени обогатилась множеством методик, подходящих для различных сфер деятельности. Базовый алгоритм управления рисками, независимо от сферы его применения, имеет вид, представленный на рис. 1.

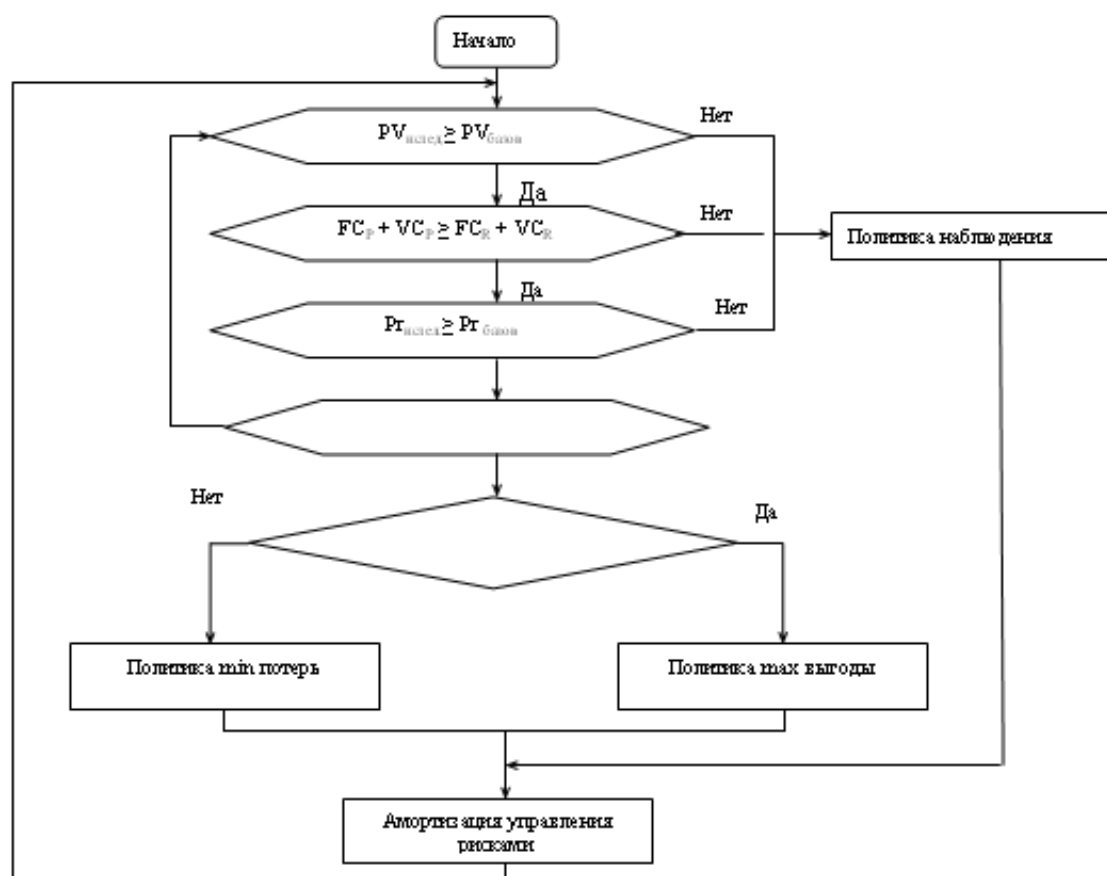


Рис. 1. Базовый алгоритм управления рисками

Алгоритм работы по схеме выбора действия:

1. Создается граница эталона сравнения, данная граница отражает риск, начиная с которого компания считает для себя необходимым оказывать воздействие на риски, с целью избегания/минимизации или увеличения выгоды/максимизация выгоды от использования мероприятий по управлению рисками. Если риск не попадает в данную границу, то риск считается незначительным или имеет низкий шанс, на то что он произойдет;

2. Определение потерь. Если потери от наступления риска ниже предполагаемых затрат от использования методов управления рисками на производстве, то в данном случае недопустимо использование данных методов (исключая случаи «обкатки» методик). В этом случае следует прибегать к стратегиям наблюдения. В противном случае идет переход на следующий шаг анализа рисков;

3. Ожидаемая выгода от использования стратегий по управлению рисками должна быть выше или равна базово принятым в организации. Данная выгода включает в себя получение альтернативной прибыли от устранения факторов. Если данная выгода не является существенной, то данные мероприятия не целесообразны, если мероприятия отражают существенную выгоду или равны, то это способствует проведению стратегий управления рисками, так как в данном случае или проверяется механизм управления рисками, или достигается прямая выгода для организации;

4. После первых трех этапов, отображающих целесообразность управления рисками, необходимо отнести риски к управляемым и неуправляемым. Если предприятие не имеет возможности управлять рисками, в силу их возникновения (политические, социальные риски, риски, связанные с изменением законодательства в сфере налогообложения и тд.), то риск является неуправляемым, в данном случае предприятие не имеет возможности использовать различные приемы снижения вероятности и или управления риском, но имеет возможность прогнозировать возможные последствия, которые позволят ей применять политику минимизации потерь от наступления риска. Если риск имеет степень управляемости (слабоуправляем, управляем, высокоуправляем), то на первоначальных этапах возможно применение различных методов по снижению негативного влияния риска, его устранению или переводу в более низкий разряд, основной задачей по данной политике является максимизация выгоды от использования различных методов управления рисками;

5. Этап амортизации предполагает наблюдения за рисками после проведения различных мероприятий, так как ситуация на рынке не является стабильной, и возможны кардинальные изменения в процессе изменения рисков, амортизация предполагает возможность частичного «сворачивания» программ по управлению рисками, в случае, если принятая мера не является соразмерной;

6. Процесс должен быть непрерывным, и повторяться многократно, данный факт позволит избежать скачкообразное перемещение рисков из одной области наблюдения в другую и позволит просматривать тенденции изменения на предмет более совершенного управления.

После соотнесения рисков к различным категориям, необходимо проведение работ с каждым отдельным риском. Часть рисков находится под постоянным мониторингом и обновлением данных. Даже если риск является несущественным, то данный риск не может выпускаться из виду, так исследование показало постоянные тенденции изменения рисков, а также изменение восприятия контрагентов по отношению к ним. Политика наблюдения представляет собой четко упорядоченный замкнутый процесс, направленный на осуществление постоянного анализа рисков, на основе решающих факторов. Данный процесс не предусматривает от организации активных действий, производится «созерцание» рисков. В случае, если риски переходят в иную категорию, то по отношению к ним разрабатываются мероприятия по их снижению [2].

Первоначально концепция управления рисками относилась к экономической деятельности. Однако риск свойственен любой деятельности, поэтому данная концепция охватила также проектную, производственную, управленческую и другие виды деятельности. Характерно, что в разных сферах используются и разные подходы к управлению рисками.

Ввиду широко распространенного капитализма, наибольшие усилия прикладывались в управлении финансовыми рисками. Помимо рисков страхования, в наше время также осуществляется управление рисками при кредитовании, биржевой торговле, инвестициях и прочих сферах. Главной целью управления финансовыми рисками является обеспечение финансовой безопасности предприятия в процессе его развития и предотвращения возможного снижения его рыночной стоимости. В соответствии с базовой схемой, первоначально происходит выявление сфер повышенного риска финансовой деятельности организации, генерирующих угрозу его финансовой безопасности. Затем осуществляется оценка вероятности наступления отдельных рисков событий и связанных с ними возможных финансовых по-

терь. На основе полученных показателей вероятности риска и величины финансовых потерь, риск относят к категории требующих или не требующих управления. Пример определения величины риска представлен в табл. 1. В примере риски могут обладать значимостью В (высокой), С (средней) и Н (низкой). Риски с высокой или средней степенью значимости требуют разработки мероприятий по их снижению, риски с низкой степенью значимости разработки таких мероприятий не требуют.

**Таблица 1**

**Зависимость величины риска от величины возможного ущерба и вероятности его возникновения**

Характеристика частоты события (Вероятность)	Величина ущерба (значимость последствий)			
	Катастрофическая (4)	Значительная (3)	Серьезная (2)	Незначительная (1)
Высокая (4)	В	В	В	С
Значительная (3)	В	С	С	С
Умеренная (2)	С	С	Н	Н
Минимальная (1)	С	Н	Н	Н

Требуется отметить, что показатели рисков (вероятность возникновения и финансовые потери) могут быть оценены как на основе достоверных данных, так и экспертным путем. Однако очень редко удается оценить вероятность возникновения рисков на основе достоверных данных, поэтому обычно приходится прибегать к экспертной оценке.

Для снижения рисков используются следующие основные мероприятия:

- Отказ от деятельности, которой свойственен этот риск. Этот метод применим только на этапе анализа контракта, однако, если контракт на работу уже заключен, этот метод применяется крайне редко, поскольку несет слишком большие финансовые потери;
- Диверсификация. Под диверсификацией подразумевается расширение сфер деятельности организации, соответственно потери в одной из этих сфер будут не критичными, если она для организации не единственная;
- Аутсорсинг рисков операций. Передача операций, которым свойственен риск на выполнение другими организациями влечет за собой новый риск того, что контрагент не выполнит операцию в срок, или не выполнит вообще;
- Страхование деятельности. Страхование позволяет возмозжные финансовые потери возместить со страховой компании;
- Принятие рисков. Принятие подразумевает отказ организации от разработки мероприятий по снижению риска.

У данной методики есть ряд недостатков, среди которых необъективная оценка величины риска. Например, у риска с наименьшей вероятностью возникновения может быть критический ущерб, при этом такой риск будет требовать мероприятий по его снижению, но ущерб от риска снизить можно не всегда. В качестве примера таких рисков приведем фрагмент анализа рисков конструкции специализированного плавучего ремонтного средства для подводных трубопроводов (СПРС-К).

Как видно в примере, все рассмотренные риски могут нанести катастрофический риск СПРС-К, однако, вероятность их возникновения минимизирована, а ущерб от наступления риска снизить невозможно. Тем не менее, в соответствии с данной методикой, требуется разработка мероприятий для снижения риска, хотя это и не имеет смысла.

Управление рисками в других сферах во многом основывается на управлении финансовыми рисками. Если на предприятии производится брак, если срываются сроки сдачи проекта, все это ведет к финансовым потерям. Однако часто требуется более детальный анализ рисков конкретной деятельности.

Таблица 2

## Фрагмент анализа рисков конструкции СПРС-К

Оборудование, система или кораблестроительный элемент	Вероятность выхода из строя	Ущерб от выхода из строя	Величина риска	Мероприятия, связанные с риском
Корпус	1	4	С	Прочность корпуса достаточна для выдерживания требуемой нагрузки. Выбор элементов обшивки и набора осуществлен в соответствии с требованиями «Правил Речного Регистра Судоходства», а также из условий обеспечения общей прочности корпуса при постановке его на опоры
Якорное устройство	1	4	С	Риск принимается. Принятые параметры якорного устройства обеспечивают нормальное функционирование СПРС-К
Швартовное и буксирное устройства	1	4	С	Риск принимается. Предусмотренные на СПРС-К швартовные устройства соответствуют требованиям «Правил Речного Регистра Судоходства»
Система водяного пожаротушения	1	4	С	Риск принимается. Для обеспечения надежности системы в дополнение к стационарному пожарному центробежному насосу используется резервный погружной центробежный насос
Система утильная	1	4	С	Риск принимается. Система спроектирована в соответствии с требованиями «Правил классификации и постройки судов внутреннего плавания» и РД5.5270-85. Надежность системы обеспечивается резервным водяным эжектором
Система сбора и выдачи нефтесодержащих вод	1	4	С	Риск принимается. На случай выхода из строя любого из четырех насосов системы гидравлики предусмотрен резервный (пятый) насос, поставляемый в комплекте опорно-подъемного устройства. В случае выхода из строя оборудования системы гидравлики работа потребителей обеспечивается от автономной системы гидравлики
Система гидравлики и автономная система гидравлики	1	4	С	Риск принимается. В качестве аварийного источника электроэнергии на СПРС-К устанавливается аккумуляторная батарея на напряжение 24В, состоящая из двух параллельно соединенных групп по 4 последовательно соединенных блоков емкостью по 125 ампер-часов
Дизель-генераторы	1	4	С	Риск принимается. При нарушении проводной связи с работающими водолазами предусмотрены станции беспроводной телефонной связи
Средство водолазной телефонной связи	1	4	С	Риск принимается. На случай выхода из строя любого из четырех насосов системы гидравлики предусмотрен резервный (пятый) насос, поставляемый в комплекте опорно-подъемного устройства. В случае выхода из строя оборудования системы гидравлики работа потребителей обеспечивается от автономной системы гидравлики

На производстве часто можно увидеть создание большого числа одинаковых деталей. Для серийного и массового производства характерно использование закона десятикратного возрастания затрат: "если на каком-либо этапе жизненного цикла продукта была допущена ошибка, ее исправление на следующем этапе обойдется в десять раз дороже, чем на этом же"[3, с. 8]. Поэтому до начала производства тщательно анализируется конструкция спроектированной детали на предмет того, какие виды брака могут возникнуть при производстве и как предотвратить их появление, как деталь поведет себя при эксплуатации и выдержит ли все нагрузки, которые на нее будут оказаны. Во время непосредственного производства собирается статистика по браку, на основе которой проверяется, всё ли было учтено при предварительном анализе рисков, а если возникает потребность, корректируются технология производства и/или конструкция детали. Такой подход порой требует больших затрат, однако предприятию дешевле совсем не производить брак, чем исправлять его.

При переходе от массового производства к мелкосерийному и единичному такой подход несколько теряет актуальность. Помимо затрат на производство, в себестоимость детали закладываются затраты на проектирование конструкции и технологического процесса и на анализ рисков. Однако эти затраты делятся уже не на множество единиц продукции, а на мелкую партию (или одну единицу).

Как правило, современное производство стремится к массовому (крупносерийному) производству. Такой подход не требует постоянной перепланировки оборудования в цеху, переобучения рабочих и подобных затрат. Однако есть специфические виды продукции, которые массово производить нерационально. Такая продукция обычно обладает сложной конструкцией, например, космическая станция, морское или речное судно. На создание такой продукции уходят годы, если не десятилетия, поэтому создавать ее массово бессмысленно - она быстро (по отношению к скорости создания) теряет актуальность. Себестоимость такой продукции может достигать колоссальных сумм, поэтому эту себестоимость всегда стремятся сократить. Оборудование судна, как правило, закупается у контрагентов, которые такое оборудование производят массово. Это оборудование зачастую дублируется, чтобы в случае поломки можно было его оперативно заменить. Таким образом, риски выхода из строя оборудования сводятся к минимуму. Кроме оборудования, которое на судно поставляют контрагенты, есть также оборудование, не имеющее аналогов. Риски, связанные с таким оборудованием, приходится брать на себя уже проектанту.

Судно состоит не только из установленного на него оборудования. Корпус, электрическая сеть, системы обеспечения жизнедеятельности и т.д. – все это требует тщательного анализа на предмет возможного выхода из строя. Для этого существуют свои методики определения надежности и ее повышения. Например, для корпуса судна рассчитываются нагрузки, которые корпус будет испытывать, на основе которых подбираются его толщина и материал. Создаются модели судна, которые проходят разнообразные испытания - на остойчивость, сопротивление качке, гидродинамичность. На компьютерных моделях проверяется взаимодействие систем, например, учтено ли при проектировании переборки, что через нее должен пройти кабель, хватает ли места всему оборудованию, требуемому на судне и т.д.

Все эти исследования, несомненно, требуют больших затрат, однако, большинство организаций предпочитает понести эти затраты. Потери от наступления риска часто оказываются намного выше, чем затраты на риск-менеджмент.

#### Библиографический список

1. **Куликова, Е.А.** Риск-менеджмент / Е.А. Куликова. – Екатеринбург: УрГУПС, 2014. – 260 с.
2. **Лазутин, А.М.** Алгоритм управления рисками на предприятии // Управление экономическими системами: Электронный научный журнал. – 2013. – №10.

3. Управление качеством процессов и продукции: в 3 кн. Кн. 1: Введение в системы менеджмента качества процессов в производственной, коммерческой и образовательной сферах : учеб. пособие / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, Е.С. Мищенко [и др.]; под ред. С.В. Пономарева. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 240 с.

*Дата поступления  
в редакцию 12.01.2017*

**A.U. Panov<sup>1</sup>, S.H. Umiarov<sup>2</sup>, S.M. Trofimov<sup>2</sup>**

**RISK MANAGEMENT: FROM THEORY OF THE GAMES  
TO THE MARINE VESSEL**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev<sup>1</sup>,  
LAZURIT Central Design Bureau, Nizhny Novgorod<sup>2</sup>

**Purpose:** analysis of the prerequisites for the formation and development of risk management in different fields.

**Resume:** analyzed the background to the emergence of the concept of risk management. In the future it will help in the analysis of the shortcomings of the existing risk management techniques.

*Key words:* risk, game theory, risk-management, risks associated with creating a marine vessel, project activity risks.

УДК 001.890.572

А.Н. Мошкова<sup>1</sup>, Т.Ф. Сергеева<sup>2</sup>, Д.В. Щитова<sup>1</sup>**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ СВОБОДНОРАДИКАЛЬНОГО  
ОКИСЛЕНИЯ В НЕРВНОЙ ТКАНИ ПРИ ИШЕМИИ РАЗНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Нижегородская государственная медицинская академия<sup>2</sup>

**Цель работы:** Методами математического анализа количественной зависимости между параметрами  $I_{\max}$  (максимальная интенсивность, отражающая потенциальную способность биологического объекта к свободнорадикальному окислению, СРО),  $S$  (светосумма, показывающая содержание радикалов, соответствующих обрыву цепи СРО) и коэффициентом  $\text{tg}2$ , характеризующим антиоксидантный потенциал, в нервной ткани крыс при церебральной ишемии разной продолжительности оценить влияние степени тяжести нарушения гемодинамики мозга на формирование адаптации организма к развитию процессов свободнорадикального окисления.

**Результаты и область применения:** Установлено, что при длительной экспозиции ишемического воздействия до 30 дней уменьшается теснота связи между  $I_{\max}(y)$ ,  $S(y)$ ,  $\text{tg}2(x)$ , характеризующими систему СРО и антиоксидантную активность, и изменяется вид количественной зависимости от простого (линейного) к более сложному (кубическому).

**Выводы:** Рассмотрено предположение, что хроническая ишемия приводит к срыву адаптации организма к СРО.

*Ключевые слова:* свободнорадикальное окисление, антиоксидантная активность, ишемия, количественная зависимость, аппроксимирующая функция, статистический анализ.

**Введение**

На сегодняшний день ишемию мозга рассматривают как сложное сочетание нейрохимических процессов, основными из которых являются гипоксия, гипогликемия и ацидоз [1]. Метаболизм мозга имеет выраженный аэробный тип развития. В течение последних лет рядом авторов была выдвинута концепция о существенной патогенетической роли окислительного стресса в повреждении клеток мозга, обусловленных его ишемией [2-5]. Повреждающая роль активных форм кислорода зачастую связана не с их прямым действием на клеточные структуры, а инициацией каскада процессов, ведущих к клеточному повреждению и развитию патологических состояний организма. При этом практически нет данных о состоянии системы прооксиданты – антиоксиданты при длительном нарушении мозгового кровообращения.

Задачей данного исследования является изучение интенсивности процессов свободнорадикального окисления (СРО) и антиоксидантного потенциала нервной ткани при ишемии головного мозга, определение вида количественной зависимости и тесноты связи между показателями  $I_{\max}$  (максимальная интенсивность, отражающая потенциальную способность биологического объекта к СРО),  $S$  (светосумма, показывающая содержание радикалов, соответствующих обрыву цепи СРО) и коэффициентом  $\text{tg}2$ , характеризующим антиоксидантный потенциал нервной ткани, оценка влияния ишемии на коррекцию их взаимодействия.

**Результаты и их обсуждение**

Головной мозг весьма чувствителен к окислительному стрессу в силу высокого потребления кислорода и особенностей состава вещества мозга. Нейрональные мембраны содержат большое количество ненасыщенных липидов, а невысокий уровень антиоксидантных ферментов, витамина А и образование свободных радикалов в нейрохимических процессах, в свою очередь, создают дополнительные условия не только для окисления липидов, но и приводят к модификации белков, в том числе ферментов [6]. Продукты нарушенного метабо-



лизма в мозге при ишемии и гипоксии обладают мембранотоксичностью и способны стимулировать процессы СРО.

В основе фазного ответа клетки на ишемию лежит развитие митохондриальной дисфункции. Нарушение структуры митохондрий приводит к изменению процессов электронного транспорта, продукции аденозинтрифосфата (АТФ) и дальнейшему нарастанию окислительного стресса – одного из важнейших механизмов гибели нервной клетки при ишемии.

Для оценки интенсивности СРО были изучены параметры хемилюминесценции в общей митохондриальной фракции у интактных животных и при ишемии головного мозга различной продолжительности.

Считая экспериментальные показатели равнозначными, проведена статистическая обработка эмпирических значений  $I_{\max}$ ,  $S$ ,  $\text{tg}2$  [7, 8]. В табл. 1 представлены результаты обработки экспериментальных данных вместе с  $C_s$  – показателем точности определения средней, который не должен был превышать 9%.

Таблица 1

Результаты обработки экспериментальных данных

Условия эксперимента	$I_{\max} (y \pm \Delta)$	$C_s$	$S (y \pm \Delta)$	$C_s$	$\text{tg}2 (x \pm \Delta)$	$C_s$
Интактные животные	76,889±5,068 $n=18$	6,59%	783,474±52,433 $n=19$	6,69%	17,750±1,002 $n=18$	5,64%
Ишемия мозга, 30 мин	65,583±3,890 $n=12$	5,93%	594,400±37,086 $n=10$	6,23%	16,125±0,925 $n=12$	5,74%
Ишемия мозга, 18 ч	106,778±4,876 $n=18$	4,55%	1089,167±42,939 $n=18$	3,94%	22,694±1,102 $n=18$	4,86%
Ишемия мозга, 3 дня	90,364±6,212 $n=11$	6,87%	885,700±50,670 $n=10$	5,72%	18,864±1,552 $n=11$	8,23%
Ишемия мозга, 7 дней	89,063±7,642 $n=16$	8,58%	589,308±52,764 $n=13$	8,95%	22,962±1,917 $n=13$	8,35%
Ишемия мозга, 30 дней	98,100±7,293 $n=10$	7,43%	851,900±74,595 $n=10$	8,76%	24,003±1,947 $n=10$	8,00%

Анализ изменения равновесия в системе прооксиданты – антиоксиданты в нервной ткани при ишемии проводился по величине коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ , представляющих соотношения:

$$K_1 = \frac{[I_{\max}]_{\text{эксп}}}{[I_{\max}]_{\text{контр}}}; K_2 = \frac{[S]_{\text{эксп}}}{[S]_{\text{контр}}}; K_3 = \frac{[\text{tg}2]_{\text{эксп}}}{[\text{tg}2]_{\text{контр}}}$$

Значения  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели изменения равновесия в системе прооксиданты – антиоксиданты в нервной ткани при ишемии разной продолжительности

Условия эксперимента	$K_1 = \frac{[I_{\max}]_{\text{эксп}}}{[I_{\max}]_{\text{контр}}}$	$K_2 = \frac{[S]_{\text{эксп}}}{[S]_{\text{контр}}}$	$K_3 = \frac{[\text{tg}2]_{\text{эксп}}}{[\text{tg}2]_{\text{контр}}}$
Интактные животные	1	1	1
Ишемия мозга, 30 мин	↓ 0,85	↓ 0,76	↓ 0,90
Ишемия мозга, 18 ч	↑ 1,39	↑ 1,39	↑ 1,28
Ишемия мозга, 3 дня	↑ 1,18	↑ 1,13	↑ 1,06
Ишемия мозга, 7 дней	↑ 1,16	↓ 0,75	↑ 1,29
Ишемия мозга, 30 дней	↑ 1,28	↑ 1,09	↑ 1,37

Проведенные исследования показали, что острое нарушение гемодинамики мозга с увеличением экспозиции приводит к изменению интенсивности процессов СРО в нервной ткани, о чем свидетельствуют изменения значений коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ .

При острой 30-минутной ишемии наблюдается снижение показателей  $S$  и  $I_{\max}$  и уменьшение величины  $\text{tg}2$  по сравнению с интактными крысами ( $K_1=0,76$ ;  $K_2=0,85$ ;  $K_3=0,90$ ; табл.2), что указывает на нарушение баланса в системе антиоксиданты – прооксиданты нервной ткани. Изменение интенсивности СРО может приводить к модификации структуры мембран и влиять на функционирование мембраносвязанных ферментов. В предыдущих исследованиях [9, 10] установлено, что при острой ишемии головного мозга (30 мин) происходит снижение активности мембраносвязанной митохондриальной креатинкиназы (миКК) и увеличение доли димера с 71 до 81%, что указывает на диссоциацию части октамеров на димеры. Структурными элементами мембран, с которыми связана миКК, являются фосфолипиды. Известно, что мембраносвязывающие свойства миКК существенно зависят от соотношения димер/октамер для белка и степени окисленности для липидов.

В наших исследованиях установлено, что с увеличением продолжительности периода нарушения мозгового кровообращения до 18 ч наблюдается увеличение интенсивности СРО, при этом в ответ на повышенный уровень образования свободных радикалов происходит рост антиоксидантной активности:  $K_1=1,39$ ;  $K_2=1,39$ ;  $K_3=1,28$  возрастают по сравнению с нормой (табл. 2). Увеличение продолжительности ишемического воздействия до 7 суток сопровождается снижением интенсивности СРО на фоне высокого значения  $\text{tg}2$  ( $K_3=1,29$ ) и достаточно низких значениях  $I_{\max}$  и  $S$  ( $K_1=1,16$  и  $K_2=0,75$  соответственно, табл. 2) по сравнению с 18-часовой ишемией, что может свидетельствовать о возрастании резистентности мембранных структур к повреждающему фактору ишемии. Известно, что липиды мембраны являются фактором, обеспечивающим нормальное функционирование ферментов [11]. Предыдущие исследования показали, что при увеличении продолжительности ишемии до 7 суток активность мембраносвязанной миКК возрастает до исходного уровня [9, 10]. Однако при увеличении продолжительности ишемии до 30 суток наблюдается снова рост интенсивности СРО (увеличение показателей  $I_{\max}$  и  $S$ ,  $K_1=1,28$  и  $K_2=1,09$  соответственно), что может указывать на нарушение процессов адаптации нервной ткани при длительных сроках ишемии. При 30-дневной ишемии был отмечен рост активности как миКК, так и цтКК относительно острой ишемии (30 мин) и интактных животных, что может быть связано с выходом миКК в цитоплазму. При этом активность димера составляла 93% от общей активности мембраносвязанной миКК, что может быть обусловлено нарушением структуры мембран митохондрий в результате окислительного стресса и диссоциацией октамеров миКК на димеры [9, 10].

Влияние ишемии на коррекцию интенсивности процессов СРО и антиоксидантного потенциала нервной ткани проявляется в изменении тесноты связи между выбранными показателями и переходе количественной зависимости от простой (линейной) к более сложной (кубической). Это положение наиболее выражено в зависимости между  $S(y)$  и  $\text{tg}2(x)$ , представленных в табл. 3 и 4.

Таблица 3

**Значения параметров линейной  $y=a_0x+a_1$  аппроксимации, коэффициентов корреляции  $r_{xy}$  и детерминации  $R^2$  количественной зависимости между показателями  $S(y)$  и  $\text{tg}2(x)$  в митохондриальной фракции мозга крыс при ишемии разной продолжительности**

Условия эксперимента	$a_0$	$a_1$	$r_{xy}$	Теснота связи	$R^2$
Ишемия, 30 мин	46,28	-105,7	0,97	Очень тесная	0,945
Ишемия, 18 ч	19,34	672,2	0,70	Значительная	0,502
Ишемия, 3 дня	26,77	406,8	0,90	Высокая	0,894
Ишемия, 7 дней	15,60	125,3	0,90	Высокая	0,872
Ишемия, 30 дней	6,647	646,8	0,60	Умеренная	0,386

Таблица 4

Значения параметров кубической  $y=a_0x+a_1x^2+a_2x^3+a_3$  аппроксимации, коэффициента детерминации  $R^2$  количественной зависимости между показателями  $S(y)$  и  $tg2(x)$  в митохондриальной фракции мозга крыс при ишемии разной продолжительности

Условия эксперимента	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$R^2$
Ишемия, 30 мин	-0,466	23,370	-331,80	1866,0	0,963
Ишемия, 18 ч	-0,037	3,723	-72,80	1234,0	0,994
Ишемия, 3 дня	0,050	-4,583	150,90	-587,3	0,970
Ишемия, 7 дней	0,002	-0,506	42,31	-211,4	0,916
Ишемия, 30 дней	0,010	-1,892	103,90	-706,3	0,974

Уравнение регрессии  $y=a_0x+a_1$  дает сведения о форме связи между величинами  $x$  и  $y$ . Качественное выражение силы связи между  $x$  и  $y$  определяется коэффициентом корреляции  $r_{xy}$ . Коэффициент корреляции  $r_{xy}$  изменяется от -1 до +1. Если  $r_{xy}<0$ , то корреляция между  $x$  и  $y$  отрицательная, при знаке плюс – положительная. При  $0<r\leq 0,3$  – связь слабая,  $0,3<r\leq 0,5$  – умеренная,  $0,5<r\leq 0,7$  – значительная,  $0,7<r\leq 0,9$  – высокая,  $0,9\leq r<1$  – очень тесная,  $r=1$  – функциональная. Оценкой значимости уравнения регрессии является коэффициент детерминации  $R^2$ . Величина  $0\leq R^2\leq 1$  показывает, какая доля результирующей (зависимой) переменной « $y$ » обусловлена вариацией объясняющей (независимой) переменной « $x$ ». Чем ближе  $R^2$  к 1, тем лучше регрессия аппроксимирует эмпирические данные, тем теснее наблюдения примыкают к линии регрессии. Из табл. 3 видно, что с увеличением экспозиции ишемического воздействия теснота связи между эмпирическими показателями СРО меняется от высокой и очень тесной до значительной. Величина коэффициента детерминации  $R^2$  при линейной  $y=a_0x+a_1$  парной регрессии между  $S(y)$  и  $tg2(x)$  с усилением тяжести нарушения гемодинамики мозга уменьшается до 0,386, в то время как при аппроксимации эмпирической зависимости между выбранными показателями кубическим многочленом  $y=a_0x+a_1x^2+a_2x^3+a_3$   $R^2$  стремится к 1 (табл. 4).

Таким образом, проведенные исследования показали, что нарушение гемодинамики мозга приводит к изменению равновесия в системе прооксиданты – антиоксиданты в нервной ткани: отмечается изменение таких параметров хемилюминесценции, как интенсивность максимальной вспышки  $I_{max}$ , светосумма медленной вспышки  $S$  и коэффициент  $tg2$ .

При статистическом анализе тесноты связи между эмпирическими данными наблюдается ее изменение от очень тесной до значительной и переход количественной зависимости от простой (линейной) к более сложной (кубической) при увеличении продолжительности периода нарушения мозгового кровообращения. Рассмотрено предположение, что хроническая ишемия приводит к срыву процесса адаптации нервной ткани, что может приводить к нарушению жизнедеятельности организма.

#### Библиографический список

1. **Афанасьев, В.В.** Патопфизиология и нейропротективная терапия ишемического повреждения головного мозга / В.В. Афанасьев, С.А. Румянцева, Е.В. Силина // Медицинский Совет. – 2008. – № 9–10. – С. 1–3.
2. **Биленко, Н.В.** Ишемические и реперфузионные повреждения органов / Н.В. Биленко. – М.: Медицина, 1989. – 368 с.
3. **Siesjo, B.K.** Role and mechanisms of secondary mitochondrial // Acta Neurochem. Suppl. – 1999. – Vol. 73. – P. 7–13.
4. **Mattson, M.P.** Energetics and oxidative stress in synaptic plasticity and neurodegenerative disorders / M.P. Mattson, D. Liu // Neuromolecular Med. – 2002. – Vol. 2, N 2. – P. 215–231.
5. **Kuznetsov, A.V.** Heterogeneity of mitochondria and mitochondrial function within cells as another level of mitochondrial complexity / A.V. Kuznetsov, R. Margreiter // Int. J. Mol. Sci. – 2009. – Vol. 10, N 4. – P. 1911–1929.

6. **Жданов, Г.Г.** Проблема гипоксии у реанимационных больных в свете свободнорадикальной теории / Г.Г. Жданов, М.Л. Нодель // Анестезиология и реаниматология. – 1995. – Т. 1. – С. 53–61.
7. Математические модели в биологии: учеб. пособие / Т. Ю. Плюснина [и др.]. – 2-е изд. доп. – М. – Ижевск: НИЦ: «Регулярная и хаотическая динамика», 2014. – 136 с.
8. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели / В. Д. Мятлев [и др.]. – М.: Академия, 2009.
9. **Мошкова, А.Н.** Оценка степени тяжести ишемии по активности изоферментов креатинфосфокиназы мозга методом эмпирических зависимостей / А.Н. Мошкова [и др.] // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. - Нижний Новгород, 2013. № 5 (102). – С. 362–366.
10. **Мошкова, А.Н.** Метод эмпирических зависимостей в оценке и прогнозировании динамики изменения активности олигмерных форм митохондриальной креатинкиназы при ишемии мозга / А.Н. Мошкова, Т.Ф. Сергеева, Е.М. Хватова // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева / НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2013. № 3 (100). – С. 323–329.
11. **Хватова, Е.М.** Нуклеотиды мозга / Е.М. Хватова, А.Н. Сидоркина, Г.В. Миронова. – М.: Медицина, 1987. – 208 с.

*Дата поступления  
в редакцию 12.01.2017*

**A.N. Moshkova<sup>1</sup>, T.F. Sergeeva<sup>2</sup>, D.V. Schitova<sup>1</sup>**

## **STATISTICAL ANALYSIS OF THE INTENSITY OF FREE RADICAL OXIDATION IN NERVE TISSUE IN ISCHEMIA OF DIFFERENT EXPOSURE**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev,  
Nizhny Novgorod State Medical Academy<sup>2</sup>

**Purpose:** The methods of mathematical analysis of quantitative relationship between such parameters as  $I_{\max}$  (maximum intensity which reflects the potential ability of the biological object to free radical oxidation),  $S$  (parameter showing the content of free radicals in termination of free radical oxidation) and coefficient  $\text{tg}2$ , characterizing the antioxidant capacity, in the nerve tissue of rats in cerebral ischemia of different duration were used to evaluate the effect of the severity of brain hemodynamic disturbance on the formation of the organism adaptation to free radical oxidation.

**The results and their application area:** Decrease in the correlation between  $I_{\max}(y)$ ,  $S(y)$ ,  $\text{tg}2(x)$ , characterizing free radical oxidation system and antioxidant activity, and changes in the form of quantitative dependence from a simple (linear) to the more complex (the cube) were revealed in ischemia of prolonged exposure up to 30 days.

**Conclusions:** Chronic ischemia was suggested to lead to the disturbance of the organism adaptation to free radical oxidation.

*Key words:* free radical oxidation, antioxidant activity, ischemia, quantitative relationship, approximating function, statistical analysis.

УДК 316

Н.В. Шашкова

## РЕПУТАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ В КОНТЕКСТЕ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Феномен репутации, обнаруживающий себя в разнообразных формах научной рефлексии, обладает весьма существенным потенциалом в сфере управления социальными системами.

Эволюция научного осмысления подобной проблемы определяется рамками от оценки репутационного статуса членом общества до уровня социальной репрезентации, осуществляющейся на основании влиятельных и формализованных оценок. Обращаясь к исследованию социальной практики, можно обнаружить актуальность репутации в условиях неопределенности при социальном взаимодействии, а также ее интегративный потенциал в современном обществе. Аксиологический подход к осмыслению репутации также может быть весьма актуальным, когда речь идет об управлении в социальных системах, поскольку позволяет проанализировать проблему выбора репутационной стратегии человека как в личностном, так и социальном аспектах.

*Ключевые слова:* социальный генезис репутации, репутация, репутация и культура, репутационные стратегии, ценности, репутация и труд, личная репутация, репутация специалиста и работодателя.

Одним из первых социально-научных исследований репутации считают теорию американского антрополога, социолога Уильяма Ллойда Уорнера. Ученый определял классовую принадлежность людей, исходя из оценки их статуса другими членами общности, т.е. их репутации. Его классическое исследование социальной системы на примере поселенческой общины, которую назвал "Янки-Сити", осуществлялось на основе высказываний членов общины друг о друге. Эти исследования были проведены в 30–40 гг. XX в. С тех пор понимание репутации как социального феномена заметно усложнилось.

Прежде всего, при современном подходе репутация отличается от индивидуального мнения одного человека о другом. Социальный генезис репутации определяется тем, что ее разделяет определенное сообщество авторов. Это значит, что для каждой репутации необходимо регулярно выяснять качественный состав аудитории, которая ее формирует. В этом отношении интересным представляется опыт технологий репутационного менеджмента британской авиакомпании «British Airways», потратившей около шестидесяти миллионов фунтов на радикальную смену имиджа. Поскольку трое из пяти пассажиров авиакомпании являются иностранцами, было решено декорировать самолеты символами стран-клиентов: японской живописью, голландским фаянсом, индейскими атрибутами.

Репутация имеет вариативный характер. Важно осознавать феномен рецепции репутации. Поэтому необходимо обращать внимание на то, в какой именно социальной группе сложилась определенная оценка какого-либо репутационного объекта. *Например, потребители, инвесторы, власти, общество и т.д. При этом подчеркнем, что все перечисленные здесь группы в реальной социальной практике постоянно пересекаются. Например, инвестор может быть потребителем, партнер — инвестором. Кроме того, все они — представители "общества в целом". Таким образом, на определенную группу или конкретного человека может приходиться не одна репутация.*

Репутация может соотноситься и с определенным именем. В современной социокультурной практике ярче всего это проявляется с помощью фирменного знака, имиджа, бренда. . .

Таким образом, в современных исследованиях репутация определяется как социальная репрезентация, разделяемая большинством, носящая временный и локальный характер, ассоциирующаяся с определенным именем и основывающаяся на влиятельных и формализованных социальных оценках [3].

С точки зрения социальных аспектов управления репутацией важно понимать ее сущность как социального феномена. Здесь исследователи выделяют два важных аспекта:

- 1) социальный механизм, порождающий репутации;
- 2) продукт, создаваемый этим механизмом, или собственно репутацию [4].

*Репутация* - механизм формирования и воспроизводства социально значимой характеристики субъекта (индивидуального или коллективного). Эти характеристики, безусловно, отражали свою эпоху. Например, исторические перемены, результатами которых стало образование и крушение Древнего Рима, не могли не внести существенные изменения в человеческие личности. Абсолютная власть отца в каждой семье породила такую же абсолютную власть в государстве. Обычай предков был главным руководством политической жизни, всякое новшество воспринималось, в отличие от древнего грека, с неудовольствием.

В Риме ценились, прежде всего, храбрость, мужество, жестокость, т.е. все те качества, которые присущи человеку-воину. Рим требовал от гражданина только воинских доблестей, которые были идеалом всех добродетелей. Жестокосердность римского характера проявлялась во всех областях жизненного периода. Особенно ярко это иллюстрирует отношение к рабам. Если в Греции отношение это можно охарактеризовать как человеческое, то в Риме положение рабов было крайне тяжелым. В первые времена в Риме раб считался чуть ли не членом семьи, но впоследствии могущество Рима развило и жестокость.

Непонятной жестокостью у римлян были пронизаны различные римские игры. Исторические условия сложились так, что греческие Олимпийские состязания приобрели у них характер безнравственный. Одной из самых любимых форм увеселений были так называемые гладиаторские зрелища, где судьба гладиатора зависела от настроения зрителей.

Рим и его общество, основанное на военном могуществе, крепко держались в своей приверженности к традиционной покорности раз выработанных принципов, пока христианский элемент не пошатнул устои Древнеримского государства [1].

Как социальный механизм репутация обнаруживает следующие особенности:

- 1) анонимна ("*люди говорят*"),
- 2) не имеет конкретного субъекта высказывания (коллективное высказывание): *многие считают, сложилось устойчивое мнение* и т.д.,
- 3) возникает как соотношение оценки и консолидированного (единого) мнения, оценивающего социально значимое поведение субъекта. Для репутации недостаточно мнения одного человека,
- 4) стремится охватить всю целостность поведения как во времени, так и во всех аспектах деятельности. Репутация не создается на гиперболизации какой-то одной черты или показателя. Требуется некая система, взаимосвязи, устойчивые соотношения особенностей, черт. Системность – важнейший принцип создания и управления репутацией,
- 5) формирование и коррекция продолжается постоянно и завершается лишь с исчезновением субъекта репутации. Здесь мы можем рассмотреть феномен «незапятнанной» репутации. Он представляет собой комплекс событий, который формирует положительный образ компании, её товара или услуги.

Во втором смысле *репутация как социальный продукт*, результат социального процесса – это социальная оценка значимых параметров поведения.

Почему для своей организации общество обратилось к феномену репутации? Актуальность подобного обращения связывается исследователями с реакцией людей на уровень неопределенности в ситуациях социального взаимодействия. Это означает, что репутация того или иного человека, группы, организации оказывается значимой в тот момент, когда возникает перспектива нашего соприкосновения с каким-либо субъектом.

Репутация фиксирует те характеристики, которые значимы в ситуации взаимодействия: профессионализм, добросовестность, порядочность, надежность, уровень конфликтности, финансовую состоятельность и т. д. *Действительно, мы выберем стоматолога с репутацией опытного, грамотного, владеющего методами современ-*

*ного лечения специалиста, или будем актуализировать характеристики человека либеральных взглядов, любящего отца и голубоглазого брюнета?*

Репутация как социальный феномен отличается устойчивостью к манипуляциям. Рекламные технологии могут создать временный и не всегда стабильно высокий рейтинг, но они не находятся в основании устойчивой репутации.

Репутация как социальный инструмент обладает вариативностью. Особенностью современного общества является его социальная и культурная гетерогенность. Отсюда - вариативность репутации одного и того же субъекта. Репутация "маленького человека", действующего в социально гомогенной среде, может быть более или менее однородной. Что же касается людей публичных, то репутация одного и того же субъекта в разных группах общества может различаться в зависимости от системы ценностей и ориентиров этих групп.

Репутация обладает интегративным социальным потенциалом. Вот почему одна из современных политехнологий состоит, например, в разрушении репутации первого лица государства, национального лидера. Чем более различаются репутации одного и того же субъекта в разных группах общества, считают ученые, тем более расколото это общество, тем менее интегрирована система базовых ценностей, тем острее противостояние социальных позиций, ценностей и интересов.

Репутация, как мы уже выяснили, связана с оценкой: человеком самого себя, других людей, организации и т.д. Важнейшим ее признаком является ценностное отношение к кому-либо или чему-либо. Ценность связана с человеком, ее генезис антропологичен. Ценностное осмысление репутации может быть весьма актуальным, когда речь идет об управлении в социальных системах.

Как ценность репутация обнаруживает характерные свойства, черты и качества человека или организации, которые определяют отношение к ним со стороны окружающих с точки зрения доверия и уважения. Из этого следует:

1) репутация представляет собой комплекс свойств и характеристик, имеет объективное, реальное начало. Это особенности какого-либо объекта (человека, группы людей, организации);

2) репутация связана со способностью человека придавать или выделять ту или иную значимость этих характеристик, т.е. выражать определенное отношение. Это значимость формируется на основе наших знаний, вкуса, эстетических предпочтений, этических норм, традиций и т.д.;

3) репутация базируется на двух важнейших ценностях: уважении и доверии. В этом случае мы встречаемся с положительной, «позитивной» или «отрицательной» репутацией. Вот почему, имея определенную репутацию, человек может добиваться самых высоких целей, а может поставить себе непреодолимый барьер.

Для репутации чрезвычайно существенны и внутренние, и внешние показатели. К внутренним характеристикам мы относим уважение и доверие, а к внешним – общественное мнение – оценка и общественные стандарты - нормы, ценности, правила и пр.

Изучение и понимание вопроса о внутренних и внешних показателях лично репутации напрямую связано с важным, а иногда и жизнеопределяющим вопросом: репутацию заслуживают или конструируют? Она является результатом естественного и трудного жизненного пути самосовершенствования человека с его идеалами, нормами и ценностями, ошибками и их исправлениями? Или репутация является результатом искусственного конструирования, итогом планомерного управления?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо обратиться к проблеме генезиса репутации, причин ее возникновения. В своей известной пирамиде потребностей человека А.Маслоу выделяет и такой уровень, как потребность в уважении и признании. Эта потребность появляется тогда, когда удовлетворены так называемые «простые» (физиологические и проблемы безопасности), и появился и реализован следующий уровень потребностей в непосредственной социализации.

Таким образом, генезис и развитие репутации связаны с важнейшими врожденными потребностями человека, они естественны. Человек естественным образом стремится реализовать свои способности, таланты, раскрыть свой творческий потенциал.

Более того, человек, реализуя эту потребность, в значительной степени ориентируется на себя, на собственные усилия. Человеку здесь первостепенно не то, чтобы обратить на себя внимание других, а чтобы другие сами обратили внимание и оценили его. Важно стать таким, чтобы не признать заслуги личности было бы невозможно. В этом случае мы выбираем репутационную стратегию служения.

Для того чтобы нас кто-то заметил, мы должны кем-то стать, чего-либо достигнуть собственными усилиями. Мы стремимся заслужить это признание. Заслужить личными качествами и поступками, профессиональными успехами и деловыми достижениями. В самой идеи служения, кстати, заложен огромный гуманистический потенциал. Идея служения – это идея, имманентная, в целом, русскому национальному сознанию. Служение Богу, стране, своему народу, семье, идеалам, профессии. Например, в русских театрах служат, а не работают.

Как результат наших заслуг, признания неоспоримых достоинств и появляется уважение. Уважение – это и есть определение нашей ценности другими людьми.

Репутационная стратегия служения выбирается нами и тогда, когда мы стремимся к доверительным отношениям. Доверие также требуется заслужить. Оно является производным от уверенности окружающих в наших поступках, определенном поведении, следовании тем нормам и правилам, которого от нас ожидают. Это уверенность является результатом самоутверждения человека, т.е. его желания показать собственную ценность и значимость.

Как происходит процесс самоутверждения? Он совершается, прежде всего, благодаря преодолению собственной ограниченности: интеллектуальной, духовной, физической, душевной, этической, эстетической и т.д. Это путь сложный, часто тяжелый, связанный с большими испытаниями. Но в этом и его ценность: чем больше испытаний преодолел человек, тем выше мы его оцениваем, тем серьезнее степень доверия и уважения, которую он вызывает у нас.

Таким образом, уважение и доверие являются важнейшими репутационными потребностями человека, имеющими формы своего выражения (признание и самоутверждение). Уважение – признание, доверие – самоутверждение. Их репутационной стратегией является служение.

Внешние показатели репутации как ценности – общественное мнение и общественные стандарты – требуют иного подхода. Здесь мы имеем дело с репутационной стратегией управления. Репутационная стратегия управления – это сознательно конструируемый процесс, осуществляемый с целью повышения своей узнаваемости в контексте сетевой реальности и продвижения репутации.

В этом случае мы имеем дело с информационными технологиями, которые могут сыграть как положительную роль, так и негативную в репутационном статусе. Несколько модальных сценариев репутационного развития сводятся к следующему:

1. Частота упоминаний уважаемого, авторитетного человека может увеличить степень его известности. Таким образом, технология здесь становится важнейшим средством так называемой «мягкой силы» в управлении общественным мнением, ориентированным на разделяемые большинством идеалы и ценности;

2. Негативный сценарий репутационного статуса соотносится с его разрушением. Значительное количество отрицательных отзывов, мнений, оценок в известной степени снижает лояльность репутационной оценки;

3. Замена репутации симулякр. *Жизнь современного человека уже не та линия, в которой медленно разворачивается репутация. Напротив, жизнь строится из коротких периодов, так называемых "проектов". Все общество живет по "проектам", индивидуальным или коллективным.* В этом смысле можно сказать, что репутации теперь требуется строиться здесь и теперь, разворачиваться мгновенно [2].

Социальные группы по-разному конструируют социальную реальность. На смену



прежним авторитетам приходят виртуальные символы, созданные с помощью современных средств массовых коммуникаций. При этом общество постмодерна генерирует свой особенный тип репутации, которая выступает как символический капитал (наряду с имиджем, фирменным знаком, брендом).

На смену репутации, строившейся медленно и постепенно, приходит репутация сетевая, т.е. репутация, которая основывается на сетевом потенциале субъекта, иначе говоря, на степени его контроля над максимальным количеством узлов общения. Таким образом, в основе репутации находится не принцип авторитета, а принцип известности.

И здесь сосредоточена одна из важных проблем и опасностей современного общества. В сетевом социуме роль СМИ, являющихся органичной частью той виртуальной реальности, в которой существует современное общество, многократно повышается. Мы встречаемся не столько с репутациями, сколько со «звездами». Возникает то, что можно назвать «звездным синдромом». Специалисты обращают внимание, что о «звездах» в любой области – в экономической, политической или в области гибридной культуры – пишут очень много плохого. Тем не менее, привлекательность «звезд» остается крайне высокой. Никакая информация практически не может испортить их, так сказать, репутацию. Почему? Просто потому, что ее знают все. И «этого человека знают все», т.е. принцип известности постепенно может заменить исторически сложившуюся репутацию.

Определенным выходом из сложившейся ситуации может стать актуализация культурно-смысловых и поведенческих констант человека и общества сквозь призму ценностного отношения к миру. Репутация во многом определяется существующей в обществе системой ценностей. Именно поэтому важно оценить значимость репутации в аспекте гуманистической аксиологии. Собственно, речь идет о более активном внедрении пока все еще слабо востребованных собственно гуманитарных технологий, в контексте управления социальной системой. В качестве примера того, «как это работает» рассмотрим аспект взаимодействия репутации и трудовых ценностей.

Наиболее актуальной дилеммой ценностного отношения к труду в культурно-исторической традиции стало его восприятие как проклятия, наказания, невыносимой тяжести бытия. Книга *Бытия* (глава II, стих 23) свидетельствует, что *Господь наказывает человека за первородный грех, в том числе и тем, что «...в поте лица твоего будешь есть хлеб, доколе не возвратишься в землю...»*). Именно тяжелым, нескончаемым и бесполезным трудом накажут греческие боги изворотливого и хитрого Сизифа за коварство и обман (вспомним «Сизифов труд»).

Однако с трудом связана и ценность созидания, радость творчества и, как итог, успех и ощущение самореализации: *«Труд - это единственный титул истинного благородства! Это мощь и радость человека-творца, другими словами единственного существа, которое живет по-настоящему, единственного существа, которое принадлежит к вечным силам. Труд проявляется в каждом скромном и великом творческом деянии, направленном на благо человеческого общества»*. (Роллан Р. «Очарованная душа»).

На наш взгляд, созидание личной репутации можно рассматривать как трудовую ценность. Прежде всего потому, что само наличие работы, трудовой деятельности закрепляет наличие за человеком определенного статуса, и дает ему положение и уважение общества. Репутация труженика намного почетнее, чем репутация бездельника и праздного человека. Более того, если репутация праздного человека, бездельника в социуме оказывается предпочтительнее, а труд вызывает презрение, то это, конечно, кризисное явление, свидетельствующее о глубоких внутренних, прежде всего нравственных, болезнях, поразивших общество.

В современной экономике, подвергающейся локальным и общемировым кризисам, постоянным изменениям, человек довольно часто может терять работу. А в обществе складывается тенденция, что потерявший работу, воспринимается, как неудачник. И вот здесь репутация совершенно необходима как спасительная возможность преодоления жизненного и профессионального кризисов.

Сегодня репутации на рынке труда уделяется огромное внимание. И в этой связи чрезвычайно актуальной становится проблема «репутации работодателя» и «репутации специалиста».

К факторам, оценивающим репутацию работодателя, исследователи относят: выполнение обязательств как личностной ответственности, качество управленческой команды, корпоративная стратегия, потенциал роста, высокие стандарты корпоративного управления, качество продукции/услуг, финансовая состоятельность. Как репутационные качества специалиста рассматриваются уровень профессиональной деятельности, уровень социализации, соблюдение человеком культурных норм (честность, добропорядочность, пунктуальность, ответственность).

Таким образом, феномен репутации порождает особенные социальные механизмы, процессы и продукты, позволяющие оказывать активное воздействие и обуславливать специфику управления в контексте социальных систем. Все это позволяет нам прийти к утверждению о высокой значимости репутационного капитала в управлении социальными системами.

### Библиографический список

1. **Гарифазянова, А.Р.** Человек в различных исторических эпохах (социально-философский аспект) [Электронный ресурс] / А.Р. Гарифазянова // Человек и наука: науч.-метод.журн. – 2014.- 2. Режим доступа: [www.cheloveknauka.com](http://www.cheloveknauka.com).
2. **Покровский, Н.** Мир потребления и ценностей в контексте глобализации. [Электронный ресурс] / И.Яковенко // Индекс: науч.-метод.журн. – 2016.- 24. Режим доступа: [www.index.org.ru](http://www.index.org.ru).
3. **Шавен, Пьер-Мари.** Социология репутации [Электронный ресурс] / П.-М.Шавен // Отечественные записки: науч.-метод.журн. – 2014.- 1. Режим доступа: [www.strana-oz.ru](http://www.strana-oz.ru).
4. **Яковенко, И.** Тунеядец Бродский и сиделец Ходорковский. Репутация и мы. [Электронный ресурс] / И.Яковенко // Индекс: науч.-метод.журн. – 2016.- 24. Режим доступа: [www.index.org.ru](http://www.index.org.ru).

*Дата поступления  
в редакцию 19.01.2017*

**N. V. Shashkova**

### REPUTATIONAL POTENTIAL IN THE CONTEXT OF MANAGEMENT OF SOCIAL SYSTEMS

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

The phenomenon of reputation which is found in various forms of scientific reflection has a very significant potential in the sphere of social systems management.

The evolution of scientific understanding has developed the reputation of subjective criteria to produce influential and formalized assessment of reputation of society membership. Referring to the study of social practices, we can detect the relevance of reputation under the conditions of uncertainty in social interaction as well as its integrative potential in today's society. Aksiologicheskyy approach to understanding reputation could also be very relevant when it comes to managing social systems, because it allows you to analyze the problem of selection of human reputation as a strategy in the personal and social aspects.

*Key words:* social genesis of reputation, reputation, reputation and culture, reputation strategy, values, reputation and labor, personal reputation, professional and employer reputation.

УДК. 53.072

Л.Н. Ерофеева, Н.В. Мохнина, Н.В. Юрова

## НЕКОТОРЫЕ ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Исследуются лакуны в распределении значений стохастических траекторий в логистической модели  $x_{n+1} = a(x_n - x_n^2)$ . Оцениваются границы соответствующих интервалов. Приводятся результаты компьютерных вычислений.

**Ключевые слова:** хаос, асимптотическая периодичность, лакуна.

Динамическая модель с дискретным временем ( $=n$ )

$$x_{n+1} = a(x_n - x_n^2), \quad 0 < a \leq 4 \quad x_0 \in (0,1)$$

в свое время привлекала к себе внимание исследователей необычным поведением своей траектории.

Отметим основные результаты, полученные при изучении этой модели [1, 2, 3]). Значения  $a$  можно разбить на интервалы, в каждом из которых почти все траектории имеют один и тот же тип. Для траекторий первого типа существует предел  $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n$ , траектории второго типа асимптотически периодичны. Для каждого целого  $k > 0$  есть интервал значений  $a$ , для которых периоды траекторий равны

$$k \cdot 2^r \quad (r = 0,1,\dots),$$

и по мере увеличения  $a$  наблюдается эффект «удвоения» периода. Такой интервал называется  $k$  – «окном». Наконец, для интервалов с траекториями третьего типа наблюдается хаотичность поведения траекторий.

Следующие рисунки иллюстрируют изложенное.

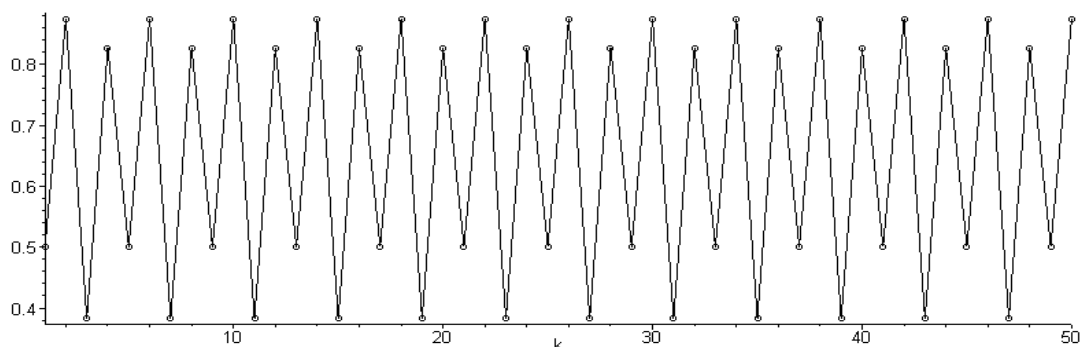


Рис. 1.  $a=3.5, n=50, b=0.5$

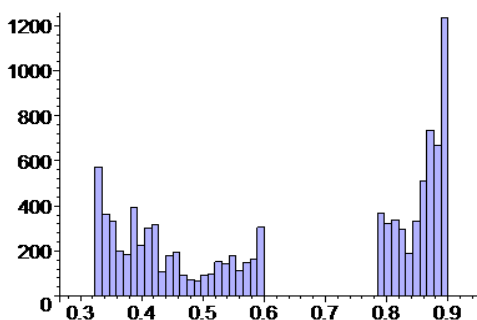
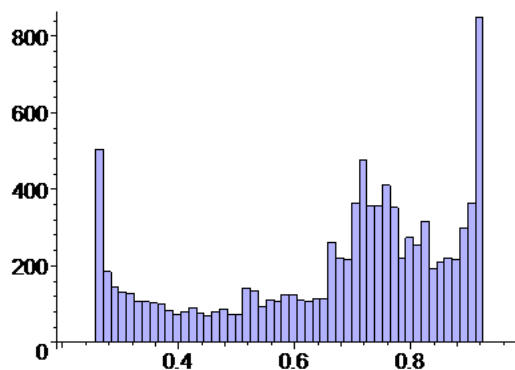
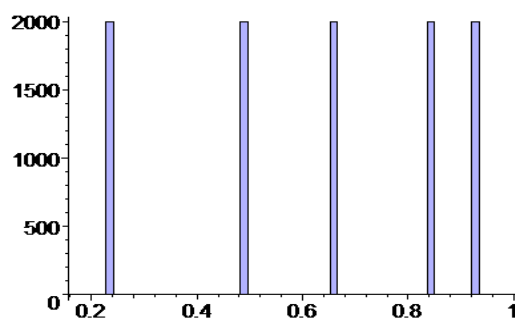


Рис. 2.  $a=3.60$

Рис. 3.  $a=3,70$ Рис. 4.  $a=3,74$ 

На рис. 2 и рис. 3 (взяты из [3]) изображены гистограммы для численных расчетов первых 1000 значений  $x_n$ . Для  $a < 3$  траектории относятся к первому типу. Второе окно занимает интервал  $(3; 3,56994567)$ . Далее появляется стохастичность  $(3,5699\dots; 3,7389\dots)$ , а затем 5 – окно. Попутно отметим, что в [2], на наш взгляд, ошибочно указан порядок последовательности окон периодичности:  $k = 1,6,5,3,5,\dots$ .

Мы ограничимся рассмотрением первого интервала хаотичности  $(3,5699\dots; 3,7389\dots)$ . Конечная цель – установить вероятностный закон распределения. Пока она представляется недостижимой. Вот одна из причин, по которой ситуация именно такова. Имеется единственное нетривиальное значение  $a=4$ , где траектории могут быть описаны явно.

Подстановка,  $x = \sin^2 S$  сводит рекуррентное соотношение  $x_{n+1} = 4(x_n - x_n^2)$  к  $\sin^2 S_{n+1} = \sin^2(2S_n)$  и  $x_n = \sin^2 2^n S_0$ .

Если предположить, что последовательность  $\{2^n S_0\}$  имеет равномерное распределение, то нетрудно показать, что  $\text{mod } \pi\{x_n\}$  имеет плотность распределения

$$\frac{2}{\pi} \frac{1}{\sqrt{x(1-x)}} \quad (0 < x < 1).$$

В [2] авторы приводят это выражение, но не утверждают, что закон именно таков. В действительности это так, но для доказательства приходится использовать метрическую теорию чисел. Еще одна причина заключается в отсутствии априорных предположений о законе распределения и, следовательно, необходимо получить достаточно большой экспериментальный материал, чтобы можно было высказать какие-либо гипотезы.

Ввиду изложенного мы ставим перед собой более простую задачу. На рис. 2 показано, что значения  $x_n$  при  $a=3,6$  попадают в два непересекающиеся интервала.

*Вопрос* следующий: наблюдается ли это явление для остальных  $a$  из рассматриваемого интервала хаотичности. Ну и, конечно же, желательно оценить границы указанных интервалов. В этом направлении в работе [3] получен важный результат.

Предложение. Если  $x_0 \in \left( \frac{a^2}{4} - \frac{a^3}{16}; \frac{a}{4} \right)$ , то  $x_n$  при  $n > 0$  также принадлежит этому интервалу. Если же  $x_0$  взято вне интервала, то при достаточно большом  $n$   $x_n$  в этот интервал попадает.

Высказано также предположение, что границы  $\frac{a^2}{4} - \frac{a^3}{16}$  и  $\frac{a}{4}$  точны.

Далее приводятся некоторые данные компьютерных вычислений для  $a=3,57; 3,58; \dots; 3,74$ .

Таблица 1

$a$	$x_{\min}$	Лакуны		$x_{\max}$	$a_1$	$a_0 = a/4$	$a_3$	$a_2$
		$X_1$	$X_2$					
3,57	0,34274	0,56210	0,80422	0,89242	0,34251	0,89250	0,56265	0,80396
3,58	0,33796	0,57065	0,80100	0,89446	0,33644	0,89500	0,57447	0,79927
3,59	0,33095	0,58529	0,79490	0,89726	0,33025	0,89750	0,58706	0,79406
3,60	0,32630	0,59430	0,79140	0,89920	0,32400	0,90000	0,60039	0,78848
3,61	0,31786	0,61388	0,78276	0,90243	0,31766	0,90250	0,61445	0,78247
3,62	0,31225	0,62651	0,77736	0,90465	0,31122	0,90500	0,62923	0,77600
3,63	0,30471	0,64472	0,76906	0,90750	0,30471	0,90750	0,64469	0,76906
3,64	0,29812	0,66074	0,76168	0,91000	0,29811	0,91000	0,66081	0,76164
3,65	0,29164	0,67693	0,75405	0,91243	0,29142	0,91250	0,67753	0,75371
3,66	0,29066	0,67775	0,75460	0,91302	0,28465	0,91500	0,69481	0,74527
3,67	0,27878	0,68120	0,70982	0,91718	0,27779	0,91750	0,71283	0,73625
3,68	0,27091	————	————	0,91998	0,27084	0,92000	0,73077	0,72676
3,69	0,26440	————	————	0,92231	0,26381	0,92250	0,74929	0,71665
3,70	0,25785	————	————	0,92463	0,25687	0,92500	0,76805	0,70595
3,71	0,25141	————	————	0,92689	0,24947	0,92750	0,78693	0,69464
3,72	0,24217	————	————	0,93000	0,24217	0,93000	0,80581	0,682711
3,73	0,24961	————	————	0,92788	0,23478	0,93250	0,82454	0,67012
3,74	0,23350	————	————	0,93309	0,22798	0,93500	0,84296	0,65687

Эти данные были получены при 50 первых значений  $x_n$ . Значение  $x_0$  было взято равным 0,45, чтобы избежать попадания вне интервала  $\left( \frac{a^2}{4} - \frac{a^3}{16}; \frac{a}{4} \right)$  из приведенного ранее предположения.

Как видно из табл. 1, лакуны в распределении значений  $x_n$  действительно наблюдаются, но не при всех значениях  $a$ . Во втором и в третьем столбцах приведены граничные значения лакун.

Таблица 2

$a = 3,60$										
$S$	0,89100	0,34963	0,81862	0,53453	0,89570	0,33632	0,80358	0,56822	0,88325	0,37123
	0,84029	0,48312	0,89896	0,32700	0,79226	0,59250	0,86920	0,40929	0,87035	0,40623
	0,86833	0,41160	0,87189	0,40211	0,86551	0,41904	0,87638	0,39002	0,85647	0,44255
	0,88813	0,35768	0,82705	0,51494	0,89920	0,32630	0,79140	0,59430	0,86800	0,41247
	0,87242	0,40069	0,86450	0,42170	0,87792	0,38583	0,85308	0,45121	0,89145	0,34836
$T$	0,32630	0,32700	0,33632	0,34836	0,34963	0,35768	0,37123	0,38583	0,39002	0,40069
	0,40211	0,40623	0,40929	0,41160	0,41247	0,41904	0,42170	0,44255	0,45121	0,48312
	0,51494	0,53453	0,56822	0,59250	0,59430	0,79140	0,79226	0,80328	0,81862	0,82705
	0,84029	0,85308	0,85647	0,86450	0,86551	0,86800	0,86833	0,86920	0,87035	0,87189
	0,87242	0,87638	0,87792	0,88325	0,88813	0,89100	0,89145	0,89570	0,89896	0,89920

В качестве иллюстрации приведем полные данные вычислений  $x_n$  ( $n=1, \dots, 50$ ) для  $a=3,6$  (табл. 2).

В табл. 2  $S$  – последовательность  $\{x_n\}$ , а  $T$  – она же, но упорядоченная по возрастанию. Как видим: лакуна имеет место между 0,59430 и 0,79140.

Возвращаясь к табл. 1, обратим внимание на последние два столбца. В них даются значения  $a_2$  и  $a_3$  членов последовательности  $a_0 = \frac{a}{4}, a_1, a_2, a_3, \dots$  с  $a_{n+1} = a \cdot a_n(1 - a_n)$ .

Обнаруживается, что  $a_2$  и  $a_3$  при  $a_2 > a_3$  дают хорошее приближение к границам лакуны. При  $a_2 < a_3$  лакун нет. Равенство  $a_2 = a_3$  достигается при  $a=3,678573510\dots$ , что получено численным решением уравнения  $a_2 = a_3$  или равносильного ему  $a_2 = 1 - \frac{1}{a}$ .

Интересен вопрос о точности в оценке размера лакуны в зависимости от числа  $N$  первых членов последовательности  $\{x_n\}$ , используемых при вычислениях.

Далее в табл. 3 приводятся данные для  $a=3,6$ ,  $N=10, 50, 100, 1000$ .

Таблица 3

$N$	$x_{\min}$	Лакуны		$x_{\max}$	$a_1$	$a_0 = a/4$	$a_3$	$a_2$
		$X_1$	$X_2$					
10	0,34162	0,576000	0,80981	0,88933	0,32400	0,9000	0,60039	0,78848
50	0,32630	0,59430	0,79140	0,89920				
100	0,32412	0,60011	0,78862	0,89996				
1000	0,32570	0,60039	0,78849	0,89941				

Можно выдвинуть предположение, что границы  $a_1, a_0, a_3, a_2$  – точные.

В заключение отметим, что интервалы, разделенные лакуной, содержат почти одинаковое количество членов последовательности  $\{x_n\}$ .

#### Библиографический список

1. Берже, П. Порядок в хаосе. О детерминистском подходе к турбулентности / П. Берже, И. По-мо, К. Видаль. – М.: Изд. «Мир», 1991.
2. Лихтенберг, А. Регулярная и стохастическая динамика / А. Лихтенберг, М. Либерман. – М.: Меркурий Пресс, 2000.
3. Галкин, В.М. Вероятностные характеристики одного детерминированного процесса / В.М. Галкин, Л.Н. Ерофеева, И.Н. Толкачев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород. – 2013. – №1(98).

Дата поступления  
в редакцию 19.01.2017

L.N. Erofeeva, N.V. Mokhnina, N.V. Yurova

#### SOME PROBABILITY CHARACTERISTICS OF LOGISTIS MODEL

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

**Purpose:** To study some aspect of the trajectory values distribution at discrete logistic model.

**Design/methodology/approach:** Numerical methods for obtaining information are used.

**Findings:** The lacunae in the value distribution are discovered. The estimates of the boundaries of the corresponding intervals are given.

**Research limitations/implications:** There are some unresolved questions.

**Originality/value.** The theoretical explanation of the exact bounds is given.

*Key words:* Haos, asymptotic periodicity, lacuna.

УДК 62-503.56

Д.Н. Фазлиев<sup>1</sup>, А.А.Нефёдов<sup>1</sup>, И.И.Дымчаков<sup>2</sup>**РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЯ WORKFLOW**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
АО «Нижегородский завод 70-летия Победы»<sup>2</sup>

Показаны возможности модуля Workflow, дана подробная характеристика, в рамках которой рассмотрены инструментальные средства описания процесса и управление выполнением процесса, а также уделено особое внимание внедрению данного модуля в информационные системы.

*Ключевые слова:* модуль Workflow, документооборот, внедрение, использование, характеристика.

**Бизнес-процесс (BusinessProcess)** – последовательность действий, которые требуют определенного входа, выхода и определенных ресурсов (рис. 1). Эти процессы обеспечивают организацию работы или услуги для внутреннего или внешнего клиента. В английской литературе **бизнес-процесс** интерпретируется как множество из одной, или нескольких операций или процедур, которые связаны между собой и в совокупности реализуют определённую цепь производственной деятельности, которая обычно осуществляется в рамках заранее известной организационной структуры.



Рис. 1. Схема бизнес-процесса

После проведения оптимизации бизнес-процессов возникает необходимость применения современных технологий для выполнения данного процесса. Для этой цели можно применять средства автоматизации. Системы автоматизации бизнес-процессов есть смысл внедрять после оптимизации, чтобы избежать издержек на автоматизацию малоэффективных процессов. Что же такое автоматизация бизнес-процессов или Workflow?

В настоящее время организацией по стандартизации в области Workflow занимается компания Workflow Management Coalition.

Вообще Workflow - это полная или частичная автоматизация бизнес-процесса, при использовании которой документы, информация или объекты передаются от одного участника (бизнес-процесса) к другому для выполнения определённых действий согласно набору правил. Workflow представляет собой синоним термина «бизнес-процесс», только используется чаще в отношении систем автоматизации бизнес-процессов. После оптимизации и проведения описания бизнес-процессов следует процессная автоматизация. Для обеспечения работы выстроенных процессов необходимо использовать средство для автоматической координации работы исполнителей, т.е. применять системы Workflow. В отличие от систем проектирования и оптимизации бизнес-процессов, системы Workflow используются для автоматизации текущей работы. То есть, обеспечивают автоматическое прохождение документов по за-

данным маршрутам, и предоставляют возможность получения отчетов по содержанию документов и в целом по процессу.

### **Представление бизнес-процесса как Workflow**

Не все бизнес-процессы могут быть описаны, как процессы Workflow. Некоторые бизнес-процессы нецелесообразно представлять в виде процессов Workflow.

Важной особенностью технологии Workflow является поддержка управления различными процессами, которые содержат как автоматизированные - выполняемые средствами информационных систем, так и неавтоматизированные - выполняемые вручную. Благодаря этому, любой бизнес-процесс предприятия может быть реализован в виде процесса Workflow, если, конечно, этот процесс: выделен, структурирован, выполняется по правилам, которые можно сформулировать, периодически повторяется.

Следует обратить внимание на то, что внедрение системы класса Workflow опирается не на маршрутизацию прохождения документов и не на автоматизацию группы операций или определённого вида действий, а на описание бизнес-процесса, для эффективного выполнения которого и осуществляется маршрутизация документов или автоматизация операций.

Технология Workflow не накладывает каких-то специальных ограничений на уровень детализации бизнес-процесса и/или степень автоматизации выполняемых операций.

При всей важности функционального моделирования, представленных в функциональной модели данных еще недостаточно для полного определения процесса. Ещё одним требованием представления бизнес-процесса в виде процесса Workflow является наличие определённых правил выполнения процесса, которые можно сформулировать и формально описать. В первую очередь, соответствующие правила касаются последовательности выполнения операций, условий и предусмотренной реакции на внешние события.

Рассмотрим операции, выполняемые группой исполнителей. В качестве направлений систематизации примем согласованность времени выполнения (синхронно, асинхронно) и области действия (локальная или распределенная). Для выполнения синхронных, локальных операций требуется присутствие всех исполнителей в одно время и в одном месте. Синхронные распределенные операции выполняются в одно и то же время исполнителями, находящимися в разных местах. Асинхронные, локальные операции выполняются членами группы в одном, определенном месте, но в различное время. Асинхронные распределенные операции выполняются членами группы исполнителей в различных местах и в различное время.

В рамках технологии Workflow рассматриваются операции, относящиеся к последней категории, - распределенные и асинхронные. Эти операции могут выполняться последовательно или параллельно, иметь сложную логику, согласовываться по времени, данным и исполнителям. Последним требованием, предъявляемым к бизнес-процессу, является периодичность выполнения. В отличие от предыдущих требований, это требование имеет экономический характер.

### **Инструментальные средства описания процесса**

С точки зрения системы, каждая операция, входящая в состав процесса, содержит задание, выполнение которого предполагает ввод и/или обработку информации. Типовыми параметрами описания операции являются следующие:

1) адресат - пользователь или группа пользователей, которые получают задание и при этом указываются права на пересылку задания другому пользователю, а также права на копирование данных, относящихся к заданию;

2) экранная форма - это документ, который содержит предназначенные для заполнения пустые места, в которые вводятся данные;



3) предельный срок выполнения задания определяет, сколько по времени должна выполняться соответствующая операция;

4) действия системы при инициализации и завершении операции.

Последовательность выполнения различных операций, а также условия их перехода от одной к другой составляют алгоритм выполнения процесса. Помимо уже рассмотренных операций, в описании алгоритма, как правило, используются: логические условия, внешние по отношению к процессу события, средства создания параллельных ветвей, точки встречи, позволяющие согласовать результаты параллельно выполняемых операций, автоматические операции - операции, выполняющиеся без участия пользователя, сценарии - экранные формы, содержащие вызов функций, операторов системы и внешних программ, используемых пользователем при выполнении различных операций.

Использование инструментов для описания процессов в большинстве современных систем класса Workflow не требует от разработчика знаний в области программирования или систем управления базами данных.

При выполнении процесса Workflow происходит передача информации от пользователя к пользователю в виде упорядоченного множества данных. Каждая операция использует эти данные, состав которых, а также способ их представления задаются соответствующей экранной формой. Создание форм является обязанностью разработчика процессов, а инструменты для разработки форм представляют собой важный компонент системы Workflow. Основным требованием к экранным формам, циркулирующим в системе, является - возможность динамически изменять состав, содержание и формат представления данных.

Множество систем поддерживают самые разнообразные типы данных. Особенно важными являются данные типа «файл», с помощью которых обеспечивается возможность ассоциировать с формой файлы, находящиеся вне системы. Разработчик указывает на операции, где эти файлы должны порождаться, и регламентирует возможность внесения в них изменений.

Построение форм представления данных является частью описания операций, составляющих процесс Workflow, и включает: задание и форматирование текста, образующего форму, определение требуемого подмножества данных, указание способа их представления в форме, описание условий и обстоятельств, определяющих содержание формы. Кроме того, для каждого поля могут быть заданы: справка-пояснение того, как это поле заполнить; справочная информация будет выдаваться на экран по требованию пользователя, диапазон или список допустимых значений: одна или несколько таблиц, определяющих взаимосвязи между значениями полей формы.

Использование таблиц позволяет организовать согласованную работу с логически связанными полями данных, например, такими, как название компании и ее почтовый адрес.

В большинстве современных систем класса Workflow присутствуют высокоуровневые инструментальные средства создания и редактирования экранных форм.

### **Управление выполнением процесса**

Любой конкретный случай выполнения процесса называется экземпляром. Выполнение любого экземпляра состоит в рассылке пользователям заданий в виде форм и управлении процессом их заполнения в соответствии с предусмотренным алгоритмом. При этом система класса Workflow обеспечивает: одновременное выполнение множества экземпляров каждого процесса, передачу заданий между операциями процесса посредством системы электронной почты, обмен произвольными сообщениями между пользователями, доступ к функциям системы и внешним программам, предусмотренным для пользователя разработчиком процесса, взаимодействие путем обмена данными с другими программами. Работа пользователя с любой формой состоит из следующих действий: просмотр содержимого, заполнение и/или редактирование полей, печать формы, выпуск формы для последующей обработки.

При заполнении экранных форм поддерживается технология электронной подписи.

В процессе эксплуатации система Workflow накапливает задания, которые ожидают обработки, и формирует очереди заданий различных типов для каждого пользователя. Производится периодическое обновление очередей и уведомление пользователя о наличии в очереди новых, еще не просмотренных заданий, заданий с высоким приоритетом, а также заданий с предельным сроком выполнения.

Набор операций для работы с очередью заданий содержит следующие операции: выбор задания, переход к заполнению экранной формы выбранного задания, выпуск выбранного задания - информирование системы о его выполнении, пересылка выбранного задания другому пользователю в случае невозможности его выполнения, установка критериев сортировки заданий в очереди, ограничение списка отображаемых заданий посредством критерия-фильтра, управление периодом обновления очереди.

После выпуска задания оно автоматически удаляется из очереди. В управлении и выполнении процесса Workflow участвуют следующие классы пользователей:

- 1) администратор системы обеспечивает поддержку и сохранение целостности всех данных, не относящихся к процессам, например, данных о пользователях;
- 2) разработчик процесса осуществляет разработку, тестирование и поддержку конкретного процесса;
- 3) владелец процесса производит редактирование конкретного процесса;
- 4) пользователь осуществляет доступ к системе через очередь заданий.

Каждый пользователь имеет уникальный код, пароль и относится к некоторой группе пользователей. Средства управления доступом системы Workflow ограничивают доступ к операциям, к функции запуска экземпляров процесса и к возможностям администрирования для определенных пользователей или групп пользователей. Кроме того, большинство систем предоставляют возможность управления доступом на уровне ролей, в соответствии с которой права доступа могут назначаться не физическим лицам или подразделениям, а должностям (ролям).

Для контроля и управления текущим состоянием выполнения экземпляров процесса в системах Workflow предусмотрены следующие функции:

- регистрационные журналы;
- отчеты о состоянии;
- пересмотр данных;
- административные отчеты.

Регистрационный журнал представляет собой внутренний отчет системы, в котором для каждого экземпляра процесса фиксируются дата и время каждой транзакции, выполненное действие и исполнитель. С помощью регистрационного журнала в любой момент времени можно получить информацию о том, что происходило и происходит при выполнении конкретного экземпляра процесса.

Отчет о состоянии - это внутренний отчет системы, в котором отражается текущее состояние каждой операции каждого процесса. Различается четыре типа состояний: выпущена, не выпущена, отозвана, не отправлена. Кроме того, для любой операции можно получить данные о текущих значениях полей. Функция пересмотра данных отличается от отчета о состоянии лишь тем, что позволяет модифицировать значения полей и, таким образом, управлять выполнением экземпляра процесса.

Административные отчеты используются для сбора и обобщения информации, относящейся к нескольким (всем, текущим или завершенным) экземплярам данного процесса. Типичными примерами административных отчетов являются отчеты об объеме продаж в регионе, о суммарном объеме всех принятых заказов или о количестве просроченных договоров. Структура и алгоритм административных отчетов определяются разработчиком процесса.

### Стратегия внедрения и использования

Какова иерархия целей такого проекта? Как эффективно организовать работы по сопровождению и развитию системы?

Цели внедрения систем Workflow:

1. Управление выполнением бизнес-процессов. Внедрение технологии Workflow позволяет организовать конвейер обработки информационных, финансовых и материальных потоков на основе согласованного выполнения операций, работ и заданий, не ограничивая при этом творческую и деловую активность исполнителей, ответственных за конкретный участок работ;

2. Сбор, организация хранения и доступа к документам и данным, используемым при выполнении бизнес-процессов. При этом, если системы типа «электронный архив» уделяют основное внимание вопросам регистрации, учета, индексации, хранения и поиска документов, то системы класса Workflow устанавливают связь между документами и операциями бизнес-процесса, управляют правилами прохождения документов, доставкой «тому, кому нужно, и тогда, когда нужно»;

3. Получение достоверной информации о деятельности компании, анализ которой служит основанием для принятия управленческих решений и своевременной корректировки стратегии развития;

4. Интеграция отдельных «островков автоматизации», существующих в различных подразделениях предприятия, в единую информационную систему поддержки выполнения бизнес-процессов. Такая интеграция позволяет избежать дублирования и несогласованности данных, используемых в различных подразделениях;

5. Необходимо отметить, что проект анализа деятельности и реорганизации бизнес-процессов предприятия и проект внедрения системы класса Workflow представляют собой далеко не одно и то же. Это последовательные шаги, необходимые для внедрения комплексной системы управления. Внедрение Workflow без предварительного описания и оптимизации бизнес-процессов приведет к автоматизации непонятно по каким принципам созданной системы, т.е. некоего неоптимального состояния;

6. Предположим, однако, что соответствующие работы выполнены, система инсталлирована, бизнес-процессы описаны, организационные вопросы решены, проведено тестирование и осуществлен переход к промышленной эксплуатации системы. Начиная с этого момента, главной задачей является поддержание системы в актуальном состоянии, отражающем особенности текущего состояния рынка, стратегию и тактику деятельности предприятия;

7. Технология выполнения соответствующих работ разработана весьма подробно. Ее квинтэссенцией является цикл управления эксплуатацией и развитием системы класса Workflow.

### Вывод

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что модуль Workflow является важной частью современных информационных систем. Основная проблема использования данного модуля заключается в его внедрении в конкретную систему.

### Библиографический список

1. IntermechProfessionalSolution [Электронный ресурс]. – Республика Беларусь, cop.2015. – Режим доступа: [http://ips.intermech.ru/ips\\_product.htm](http://ips.intermech.ru/ips_product.htm)
2. **Норенков, И.П.** Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.

3. Автоматизация процесса Workflow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.regcons.ru/5-step-1-6.htm>

*Дата поступления  
в редакцию 26.01.2017*

**D. N. Fazliev<sup>1</sup>, A. A. Nefedov<sup>1</sup>, I.I. Dymchakov<sup>2</sup>**

## **EMPOWER INFORMATION SYSTEMS USING WORKFLOW**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev<sup>1</sup>,  
SC "Nizhny Novgorod plant of the 70th anniversary of the Victory"<sup>2</sup>

**Purpose:** The work to show the capabilities of the Workflow, to give his detailed description, within which to consider the tools of the process description and execution control of the process, and pay special attention to the implementation of this module in the information system.

**Design/ methodology/ approach:** An overview of the main characteristics of the Workflow and its basic capabilities.

**Findings:** This module must be used in order to organize the user interaction, to reduce the time for the change of information.

**Research limitation/ implications:** The implementation of this module will lead to the acceleration of the production processes, streamlining of information systems in General.

**Originality/value:** The original approach to the implementation of Workflow in different information systems.

*Key words:* workflow, workflow, implementation, use, feature.

УДК 004.621.398

С.С. Довнар<sup>1</sup>, Ю.А. Скудняков<sup>2</sup>, Н.Н. Гурский<sup>1</sup>

## ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСПОЗНАВАНИЯ И МОНИТОРИНГА МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Белорусский национальный технический университет<sup>1</sup>,  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники<sup>2</sup>

Предложены к использованию математические модели, разработаны алгоритмы и программно-технические средства для распознавания и мониторинга мобильных объектов с использованием основных принципов и операций компьютерного зрения и нейронных сетей. Программное обеспечение с использованием аппаратуры в виде камеры видеонаблюдения (IP-камеры) позволяет следить за перемещениями мобильного объекта.

Использование полученных результатов позволяет повысить оперативность и качество распознавания и мониторинга мобильных объектов различного назначения.

*Ключевые слова:* математические модели; алгоритмы; программно-технические средства; распознавание; мониторинг; мобильные объекты; компьютерное зрение; нейронные сети; камеры видеонаблюдения.

### Введение

В настоящее время в системах обработки информации широко применяются алгоритмы из теории компьютерного зрения. Основные задачи, которые ставит перед собой теория, – анализ изображений с целью обнаружения, распознавания, отслеживания и классификации объектов.

Изучение компьютерного зрения проводится с 1960-х годов, а широкая распространенность задач, связанных с анализом изображений, и принципиальные сложности в разработке алгоритмов с течением времени только увеличивают количество публикаций и исследований в этой области.

На данный момент системы обработки информации с использованием компьютерного зрения применяются в таких сферах, как медицина, автоматизированные военные системы, автомобильная промышленность, поисковые системы, системы охраны объектов, системы контроля качества продукции и др. [1-2].

В данной работе исследуются возможности использования компьютерного зрения для распознавания и мониторинга мобильных объектов.

### Методы распознавания и мониторинга

В работе для решения задач распознавания и мониторинга мобильных объектов предложено использовать детектор Хаара, метод Виолы–Джонса, фильтр Калмана. Благодаря быстрой обработке изображения, можно с лёгкостью обрабатывать потоковое видео. Детектор Хаара используется для распознавания большинства классов объектов. К ним относятся лица и другие части тела людей, номера автомобилей, пешеходы, дорожные знаки, животные и т.д.

В настоящее время метод Виолы–Джонса является популярным методом для поиска объекта на изображении в силу своей высокой скорости и эффективности. В основу метода Виолы–Джонса положены: интегральное представление изображения по признакам Хаара, построение классификатора на основе алгоритма адаптивного бустинга и способ комбинирования классификаторов в каскадную структуру. Эти идеи позволяют осуществлять поиск объекта в режиме реального времени.

Интегральное представление изображения – это матрица, одинаковая по размерам с

исходным изображением. В каждом элементе матрицы хранится сумма интенсивностей всех пикселей, находящихся левее и выше данного элемента – правого нижнего угла прямоугольной области (0,0) до (x,y). Элементы матрицы L можно рассчитать по формуле:

$$L(x, y) = \sum_{i=0, j=0}^{i \leq x, j \leq y} I(i, j),$$

где  $I(i, j)$  – яркость пиксела исходного изображения.

Расчёт значений элементов матрицы проходит за время, пропорциональное числу пикселей в исходном изображении, поэтому интегральное изображение просчитывается за один проход.

Элементы матрицы рассчитываются по формуле:

$$L(x, y) = I(x, y) + L(x-1, y-1) + L(x, y-1) + L(x-1, y).$$

С помощью интегрального представления изображения можно быстро рассчитать суммарную яркость произвольной прямоугольной области на изображении.

Классификатор формируется на примитивах Хаара путём расчёта значений признаков. Для обучения на вход классификатора сначала подаётся набор «правильных» изображений с предварительно выделенной областью на изображении, дальше происходит перебор примитивов и расчёт значения признака.

На этапе обнаружения объекта в методе Виолы-Джонса используется окно определенного размера, которое движется по изображению. Для каждой области изображения, над которой проходит окно, рассчитывается признак Хаара, с помощью которого происходит поиск нужного объекта [3].

Ян ЛеКун предложил использовать для решения рассматриваемых задач так называемые сверточные нейронные сети [4].

Идея сверточных нейронных сетей заключается в чередовании сверточных слоев (C-layers), субдискретизирующих слоев (S-layers) и наличия полносвязных (F-layers) слоев на выходе.

Такая архитектура включает в себе три основные парадигмы: 1) локальное восприятие; 2) разделяемые веса; 3) субдискретизацию.

Локальное восприятие подразумевает, что на вход одного нейрона подается не все изображение (или выходы предыдущего слоя), а лишь некоторая его область.

Такой подход позволил сохранять топологию изображения от слоя к слою.

Концепция разделяемых весов предполагает, что для большого количества связей используется очень небольшой набор весов. Т.е. если у нас имеется на входе изображение размером 32x32 пикселя, то каждый из нейронов следующего слоя примет на вход только небольшой участок этого изображения размером, к примеру, 5x5, причем каждый из фрагментов будет обработан одним и тем же набором. Самых наборов весов может быть много, но каждый из них будет применен ко всему изображению. Такие наборы часто называют ядрами (kernels). Нетрудно посчитать, что даже для 10 ядер размером 5x5 для входного изображения размером 32x32 количество связей окажется равным примерно 256000 (сравниваем с 10 млн), а количество настраиваемых параметров всего 250!

На качестве распознавания это сказывается в лучшую сторону. Дело в том, что такое искусственно введенное ограничение на веса улучшает обобщающие свойства сети (generalization), что в итоге позитивно сказывается на способности сети находить инварианты в изображении и реагировать главным образом на них, не обращая внимания на прочий шум. Для решения данной задачи можно использовать другой подход с применением двумерных фильтров. Фильтр представляет собой матрицу коэффициентов, обычно заданную вручную. Эта матрица применяется к изображению с помощью математической операции, называемой *сверткой*. Суть этой операции в том, что каждый фрагмент изображения умножается на матрицу (ядро) свертки поэлементно и результат суммируется и записывается в аналогичную позицию выходного изображения. Основное свойство таких фильтров заключается в том, что значение их выхода тем больше, чем больше фрагмент изображения похож на сам фильтр.

Таким образом, изображение, свернутое с неким ядром, дает другое изображение, каждый пиксел которого будет означать степень похожести фрагмента изображения на фильтр.

Процесс распространения сигнала в С-слое показан на рис. 1.

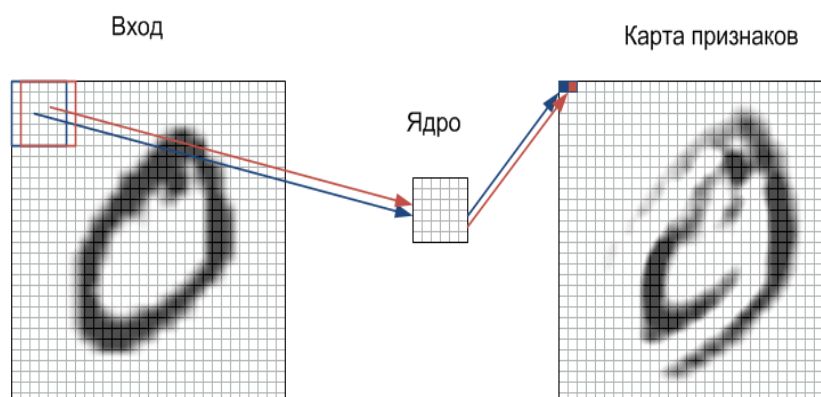


Рис. 1. Процесс распространения сигнала в С-слое

Каждый фрагмент изображения поэлементно умножается на небольшую матрицу весов (ядро), результат суммируется. Эта сумма является пикселом выходного изображения, которое называется картой признаков. Здесь опустим тот факт, что взвешенная сумма входов еще пропускается через функцию активации (как в любой другой нейросети). На самом деле это может происходить и в  $S$ -слое, принципиальной разницы нет. Следует отметить, что в идеале не разные фрагменты проходят последовательно через ядро, а параллельно все изображение проходит через идентичные ядра. Кроме того, количество ядер (наборов весов) определяется разработчиком и зависит от того, какое количество признаков необходимо выделить. Еще одна особенность сверточного слоя в том, что он немного уменьшает изображение за счет краевых эффектов.

Суть субдискретизации  $S$ -слоев заключается в уменьшении пространственной размерности изображения, т.е. входное изображение грубо (усреднением) уменьшается в заданное количество раз. Чаще всего в 2 раза, хотя может быть и не равномерное изменение, например, 2 по вертикали и 3 по горизонтали. Субдискретизация нужна для обеспечения инвариантности к масштабу.

Итак, в результате работы алгоритма выделения объектов может быть получен список обнаруженных на данном кадре сегментов, однако, чтобы решить задачу слежения за объектами, необходимо сопоставить каждому из этих сегментов объект, известный на предыдущем кадре, либо принять решение об обнаружении нового объекта. Иногда ошибочно обнаруженные сегменты являются достаточно устойчивыми во времени и существуют в близких точках пространства на протяжении нескольких кадров. С другой стороны, иногда правильно обнаруженные сегменты кратковременно исчезают, поэтому должен быть механизм, который, *во-первых*, принимает решение об обнаружении нового объекта, *во-вторых*, фильтрует неустойчивые во времени ложные сегменты, *в-третьих*, устанавливает соответствие между известными ранее объектами и новыми сегментами, *в-четвёртых*, прогнозирует координаты объектов при кратковременном пропадании, *в-пятых*, принимает решение о потере объекта.

Для придания алгоритму слежения устойчивости к временному закрытию объекта участками фона для каждого объекта вводится персональный траекторный фильтр, главная задача которого – прогноз координат объекта в следующем кадре на основе анализа траектории движения объекта. Обычно в качестве такого фильтра используется фильтр Калмана.

При временном закрытии объекта участками фона или другими объектами уточнение параметров траектории не выполняется, и траекторный фильтр работает в режиме прогнозирования координат.

При наличии в последовательности изображений множества объектов слежения воз-

никает вероятность перепутывания объектов в ситуациях пересечения траекторий их движения. После пересечения траекторий объекты должны получать те же идентификаторы, какие были у них до пересечения.

### Программно-техническая реализация

В процессе выполнения работы была создана программа, которая реализует алгоритм распознавания объекта на сцене и последующего его мониторинга.

Для получения видеоизображения с камеры используется протокол http. После получения видеоизображения, оно раскадровывается и далее работа происходит с каждым кадром по отдельности.

Основная часть программы работает в два (три) потока, количество потоков зависит от того, работает в данный момент мониторинг или нет. В одном потоке к изображению применяется детектор Хаара для поиска искомым примитивов (например: глаза, нос, рот или лицо целиком) на изображении, информация о найденном совпадении записывается в память компьютера, далее запускается в отдельном потоке мониторинг найденного объекта или нескольких объектов, запуск мониторинга может быть автоматическим или с подтверждением запуска у пользователя, в случае, когда на изображении детектор Хаара нашел, например, глаза, рот и лицо целиком. В ходе мониторинга записываются все изменения координат объекта, также имеется возможность вручную задать объект, за которым производится мониторинг. В случае ручного выбора объекта можно выбрать опцию поворота камеры вслед за объектом.

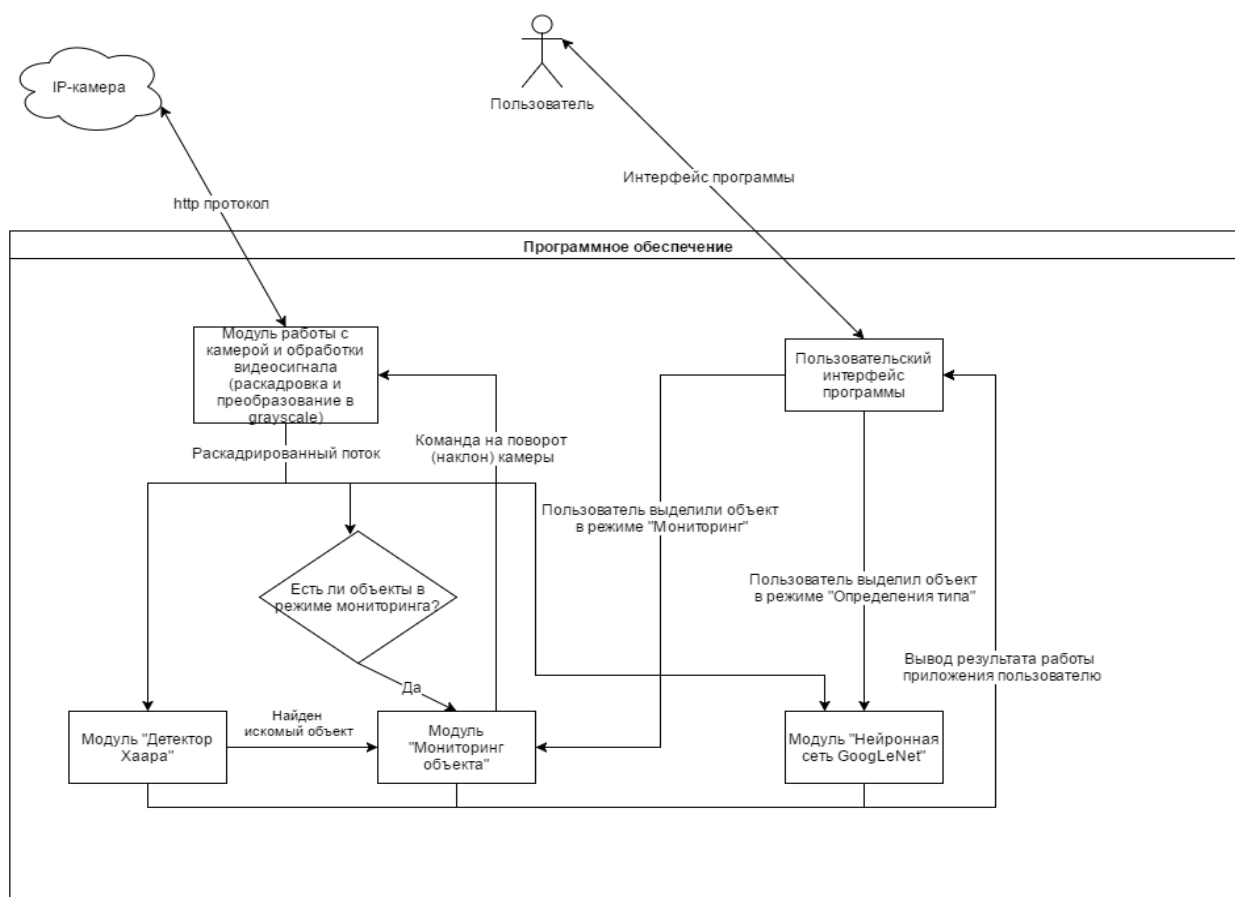


Рис. 2. Схема взаимодействия модулей программного обеспечения

Во отдельном потоке работает распознавание типа объекта на изображении с помощью нейронной сети GoogLeNet. Данный алгоритм запускается только в ручном режиме, т.е.



необходимо при помощи устройств ввода, обычно это компьютерная мышь, выделить искомый объект и дождаться результата полученного в ходе работы сверточной нейронной сети. Нейронная сеть GoogLeNet, точнее ее модель, реализована при помощи фреймворка глубокого обучения Caffe.

Программа реализована на языке C++, который был выбран из-за своей достаточно высокой скорости работы, при помощи библиотек libcurl для работы с http протоколом, библиотеки OpenCV [5-6], используемой для обработки изображений и фреймворка Caffe для реализации нейронной сети. Общая схема модулей приложения приведена на рис. 2.

В аппаратной части комплекса использовалась камера D-Link DCS-5030L, имеющая 1/4 дюймовый мегапиксельный CMOS-сенсор с технологией прогрессивного сканирования, фокусным расстоянием 2,38 мм и углами обзора 94,36° (по горизонтали), 59,3° (по вертикали). Данная камера поддерживает технологию PTZ (Pan-Tilt-Zoom), т.е. она поддерживает дистанционное изменение зума и поворота и наклона камеры по вертикали и горизонтали, с углом поворота от -170° до +170°, углом наклона от -20° до +90°, скоростью вращения 16° в секунду и 4-кратным цифровым зумом. Также использовалась веб-камера A4Tech PK-635E, имеющая 1/6 дюймовый 0.3 мегапиксельный CMOS-сенсор с фокусным расстоянием 3,5 мм и углом обзора 54°.

На рис. 3 приводится принцип функционирования системы IP-камер.



Рис. 3. Принцип работы системы IP-камер

### Заключение

Таким образом, в работе были получены следующие результаты:

- изучены и предложены к использованию основные принципы и операции компьютерного зрения, методы, алгоритмы и нейронные сети для распознавания и мониторинга мобильных объектов на изображении;
- разработано программно – техническое обеспечение распознавания и мониторинга мобильных объектов.

Программное обеспечение, разработанное в данной публикации, позволяет осуществлять распознавание и мониторинг мобильных объектов и следить за их передвижением, оно напрямую взаимодействует с аппаратурой, в данном случае камерой видеонаблюдения (IP-камера), и позволяет в случае движения объектов двигать соответствующую камеру.

Предложенный в работе подход не дает абсолютно точного результата распознавания и мониторинга мобильных объектов и требует своего дальнейшего развития.

#### Библиографический список

1. **Форсайт, Дэвид.** Компьютерное зрение. Современный подход издательство /Дэвид Форсайт, Жан Понс. – М.: Изд-во Вильямс, 2004. – 928 с.
2. **Претт, У.** Цифровая обработка изображений / У. Претт. – М.: Мир, 1982.
3. **Васильев, К.К.** Статистический анализ многомерных изображений / К.К. Васильев. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 156 с.
4. **LeCun, Y.** Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series, in Arbib, M. A. (Eds), The Handbook of Brain / Y. LeCun, Y. Bengio // Theory and Neural Networks, MIT Press, 1995.
5. <http://docs.opencv.org/doc/tutorials/imgproc/> - документация по применению основных алгоритмов компьютерного зрения.
6. <http://www.lektorium.tv/course/22847> — курс «Введение в компьютерное зрение» факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ: М., 2012.

*Дата поступления  
в редакцию 26.01.2017*

**S.S. Dovnar<sup>1</sup>, Y.A. Skudnyakov<sup>2</sup>, N.N. Hurski<sup>1</sup>**

#### **SOFTWARE AND TECHNICAL SUPPORT FOR THE RECOGNITION AND MONITORING OF MOBILE OBJECTS**

<sup>1</sup>Belarusian national technical University,

<sup>2</sup>Belarusian state University of Informatics and Radioelectronics

The proposed mathematical model, developed the algorithms and software and hardware tools for recognition and monitoring of mobile objects using basic concepts and operations of computer vision and neural networks. Software using hardware in the form of surveillance cameras (IP camera) allows you to monitor the movement of mobile object.

The obtained results allows to improve the efficiency and quality of recognition and monitoring of mobile objects for various purposes.

*Key words:* mathematical models; algorithms; software and hardware; detection; monitoring; mobile objects; computer vision;neural networks; surveillance cameras.

УДК 004.421

А. В. Супруненко

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАВНОВЕСНЫХ СОСТОЯНИЙ В ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ МОДЕЛИ СЕТИ ДОВЕРИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Предложен алгоритм определения устойчивости равновесных состояний в теоретико-игровой модели сети доверия, основанный на эволюционно-генетическом моделировании. Приведены результаты работы алгоритма для определённой модели сети доверия.

*Ключевые слова:* сеть доверия, репутация, равновесие по Нэшу, бескоалиционная игра, эволюционно-генетическое моделирование.

### Введение

Одним из способов описания и формализации процесса взаимодействия агентов сетей доверия является использование теоретико-игрового подхода [1]. В данной работе представлен алгоритм определения устойчивости равновесных состояний в теоретико-игровой модели сети доверия, описанной в [2] и используемой для классификации источников веб-контента.

Агенты сети доверия не взаимодействуют друг с другом напрямую. В качестве показателя доверия используется не мнение об агенте других участников сети, а степень доверия системы данному агенту: репутация. В этом случае является неизменным контекст взаимодействия, а значит, репутация может быть выражена единственным значением. Значение репутации агента используется при расчёте совокупной оценки источника веб-контента, при этом каждый агент оказывает влияние на совокупную оценку, пропорциональное значению его репутации. Изменения значений репутации каждого из агентов происходит на основе опыта его участия в оценке того или иного интернет-ресурса.

Процесс классификации осуществляется следующим образом:

*Шаг 1.* В сети доверия выбираются  $m$  агентов ( $m \leq n$ ,  $n$  — количество агентов, зарегистрированных в сети доверия на данный момент), образующих подмножество агентов  $A^*$ , участвующих в оценке источника веб-контента:  $A^* = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ ,  $A^* \subseteq A$ .

*Шаг 2.* Каждый из  $m$  агентов оценивает источник веб-контента, выбирая одну оценку из множества  $X$ ,  $|X| = k$ . Сделанные агентами оценки можно записать в виде матрицы  $V$  размером  $2 \times k$ , где в первой строке указываются оценки — элементы множества  $X$ , а во второй строке — суммы значений репутаций  $R_{x_i}$  агентов, выбравших соответствующую оценку:

$$V = \begin{pmatrix} x_1 & \dots & x_k \\ R_{x_1} & \dots & R_{x_k} \end{pmatrix}.$$

*Шаг 3.* На основании сделанных агентами оценок определяется итоговая оценка источника веб-контента  $x^*$  как оценка, которую выбрали агенты, обладающие максимальной суммарной репутацией: элемент первой строки матрицы  $V$ , находящийся в столбце, содержащем максимальное значение во второй строке, т. е.

$$x^* = x_i : \max_{R_i} \{x_i\}. \quad (1)$$

*Шаг 4.* На основании выбранной итоговой оценки множество агентов  $A^*$  разделяется на два подмножества:

$A^+$  — подмножество агентов, чья оценка совпала с итоговой оценкой,  $A^+ \subseteq A^*$ ,

$A^-$  — подмножество агентов, чья оценка не совпала с итоговой оценкой,  $A^- \subset A^*$ , при этом  $A^+ \cap A^- = \emptyset$ .

Для каждого из подмножеств агентов новые значения репутации рассчитываются следующим образом:

$$r^* = r_0 + \frac{R^- \cdot r_0}{m \cdot R}, \quad (2)$$

для агентов, чьи оценки совпали с итоговой оценкой,

$$r^* = r_0 - \frac{R^+ \cdot r_0}{m \cdot R}, \quad (3)$$

для агентов, чьи оценки не совпали с итоговой оценкой, где

$r^*$  — скорректированное значение репутации агента сети доверия;

$r_0$  — текущее значение репутации агента сети доверия;

$R^-$  — сумма значений репутаций агентов, чьи оценки не совпали с итоговой оценкой;

$R^+$  — сумма значений репутаций агентов, чьи оценки совпали с итоговой оценкой;

$R = \sum_{i=1}^m r_i$  — сумма значений репутаций агентов, участвующих в оценке.

При переходе от описания сети доверия к теоретико-игровой модели между используемыми терминами устанавливается следующее соответствие:

- каждому раунду игры соответствует процесс классификации источника веб-контента;
- игроками являются агенты сети доверия, участвующие в оценке источника веб-контента;
- стратегиям игроков соответствует выбор оценки агентом;
- значением функции выигрыша является новое значение репутации агента.

Такая игра имеет следующие правила:

Правило 1. Ход игрока означает выбор им одной из стратегий (оценок источника веб-контента);

Правило 2. Игроки не знают о количестве других игроков и о ходах, сделанных другими игроками;

Правило 3. Выигрышной стратегией считается та, которую выбрали игроки, обладающие наибольшей суммой значений их репутации (1).

Правило 4. После определения выигрышной стратегии (1) каждый игрок получает новое значение репутации — выигрыш (2) или (3).

Выбор агентами таких оценок, при которых значение их функции выигрыша максимальны (оценок, совпадающих с итоговой оценкой) для описанной теоретико-игровой модели будет являться равновесием по Нэшу – ситуацией в игре, когда ни один игрок не может увеличить свой выигрыш, индивидуально выбрав другую стратегию. Описанная игра всегда имеет определённое количество равновесий по Нэшу, равное количеству элементов множества стратегий игроков. Равновесные ситуации возникают при одновременном выборе всеми игроками одной и той же (выигрышной) стратегии.

### Теоретический анализ

Для описанной модели количественное определение устойчивости равновесия позволит выяснить, какое количество игроков должно изменить свою стратегию, чтобы игра перешла из одной точки равновесия в другую. В практическом смысле смена точки равновесия игры означает намеренное изменение оценки веб-контента.

Можно обозначить три свойства устойчивости равновесия по Нэшу [3]:

1. Равновесие называется  $(\epsilon, t)$ -иммунным, если ожидаемый выигрыш игроков не выходит за рамки  $\epsilon$ -окрестности, когда  $t$  других игроков меняют свои стратегии;
2. Равновесие называется  $(\epsilon, t)$ -толерантным, если равновесные стратегии игроков остаются равновесными в  $\epsilon$ -окрестности, даже если  $t$  других игроков меняют свои стратегии;
3. Равновесие называется  $(\epsilon, t)$ -коалиционным, если не существует такого игрока, который может увеличить свой выигрыш больше, чем на  $\epsilon$ , если присоединится к  $t - 1$  игрокам, сменивших свои стратегии.

Учитывая неравнозначность каждого игрока в описанной теоретико-игровой модели,

количество игроков заменяется суммой их репутации, тогда условие устойчивости равновесия будет иметь вид:

$$R_i < R^*,$$

где  $R_i$  — сумма значений репутаций игроков для каждой из стратегий, кроме выигрышной;  
 $R^*$  — сумма значений репутаций игроков для выигрышной стратегии;  
 $i = \overline{1, k}$  — номер стратегии.

Условие устойчивости равновесия для каждого игрока, первый раз принимающего участие в игре:

$$\forall r_j: R_i + r_j < R^*, j = \overline{1, m},$$

где  $r_j$  — значение репутации игрока, первый раз реализующего стратегию (первый раз принимающего участие в игре);

$m$  — количество игроков, первый раз принимающего участие в игре.

Учитывая описанную специфику игры, определение устойчивости равновесия сводится к решению трёх задач, в каждой из которых:

- в игре участвуют  $n$  игроков ( $n > 1$ ),
- каждый из игроков имеет значение репутации  $r_i, i = \overline{1, n}$ ,
- каждый игрок имеет две стратегии:  $x_1$  и  $x_2$ ,
- все игроки выбирают стратегию  $x_1$ . Игра находится в состоянии равновесия,
- $t$  игроков ( $t < n$ ) меняют свою стратегию на  $x_2$ .

#### 1. Иммунность равновесия

Определить суммарную репутацию игроков, сменивших свою стратегию, при условии, что выигрыш каждого из других игроков не изменился больше, чем на  $\epsilon$ .

#### 2. Толерантность равновесия

Определить суммарную репутацию игроков, сменивших свою стратегию, при условии, что игра осталась в прежней точке равновесия, а выигрыш игроков, не сменивших свои стратегии, не изменился больше, чем на  $\epsilon$ .

#### 3. Коалиционность равновесия

Определить значение репутации игрока, который, если сменит свою стратегию, увеличит свой выигрыш больше, чем на  $\epsilon$ , при условии, что свои стратегии уже сменили  $t - 1$  игроков.

С учётом требований каждого из свойств равновесия, толерантность является самым строгим требованием, поэтому достаточно показать только толерантность равновесия.

### Методика

Для определения устойчивости равновесия предлагается использовать элементы эволюционно-генетического моделирования.

В качестве элемента популяции выступают  $n$  игроков. Для каждого элемента популяции выполняются шаги:

1. Каждому из  $n$  игроков присваивается случайным образом значение репутации  $r_i, i = \overline{1, n}$ , принадлежащее некоторому диапазону  $[r_{\min}; r_{\max}]$ . Сумма значений репутаций игроков:  $R = \sum_{i=1}^n r_i$ .

2. Каждый из игроков реализует стратегию  $x_1$  (игра находится в состоянии равновесия).

3. Стратегии игроков последовательно изменяются на  $x_2$  (мутация), после каждой смены стратегии определяются новые значения репутации игроков:  $r_i^* = r_i \pm \frac{r_i R^{\mp}}{nR}$ , как описано в [4].

4. Если очередная смена стратегии привела к потере равновесия, то смена стратегии не производится, для игроков определяются:

- суммарное значение первоначальных репутаций игроков, изменивших свои стратегии  $R_N^-$ ;
- суммарное значение проигрыша, как разность суммы первоначальных значений репутаций и суммы конечных значений репутаций проигравших игроков:  $R_N^- - R_N^{*}$ , где  $R_N^{*}$  — сумма значений репутаций проигравших игроков.

В качестве фитнес-функции используется сумма относительных значений суммарной начальной репутации игроков и суммарного проигрыша:

$$F(N) = \frac{R_N^-}{R_N} + \frac{R_N^- - R_N^{*-}}{R_N} = \frac{2R_N^- - R_N^{*-}}{R_N} \rightarrow \min,$$

где  $N$  — вектор игроков.

Из популяции сохраняется лучший элемент: «особь» с минимальным значением фитнес-функции. Процесс повторяется, после каждой итерации определяется один лучший элемент популяции. Выводится отношение  $\frac{R_N^-}{R_N}$ .

Блок-схема алгоритма показана на рис. 1.

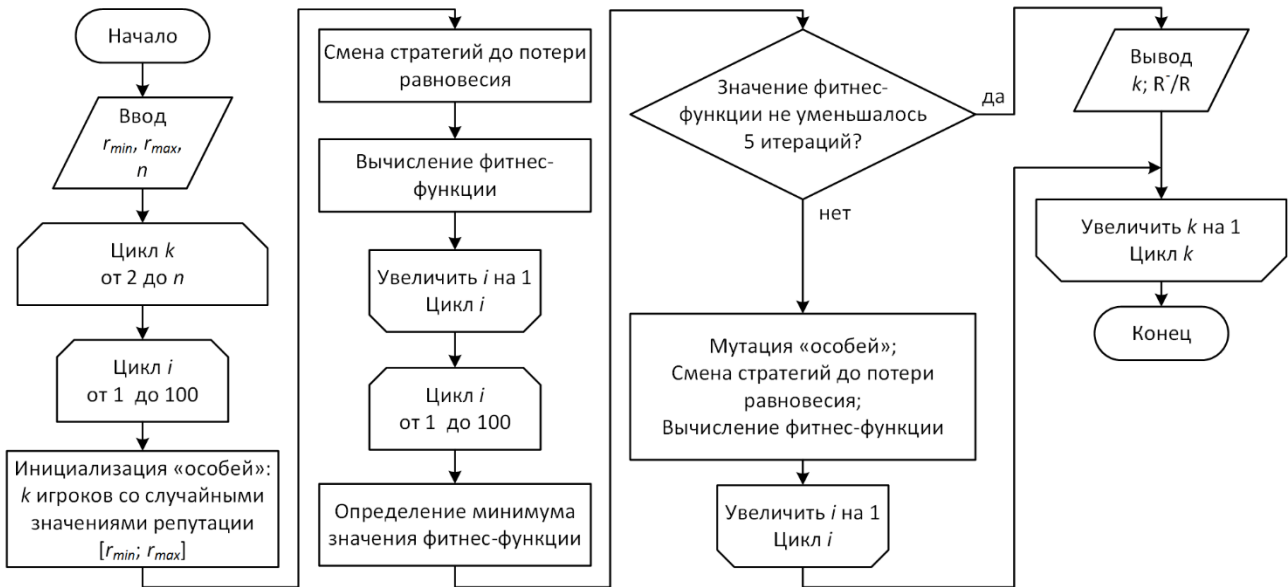


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения устойчивости равновесных состояний в теоретико-игровой модели сети доверия

### Экспериментальная часть

Была подготовлена программная реализация предложенного алгоритма. Программа запускалась с различным набором входных параметров.

1.  $r_{\min} = 500$ ,  $r_{\max} = 1500$ ,  $n = 100$ . Результат работы алгоритма показан на рис. 2.

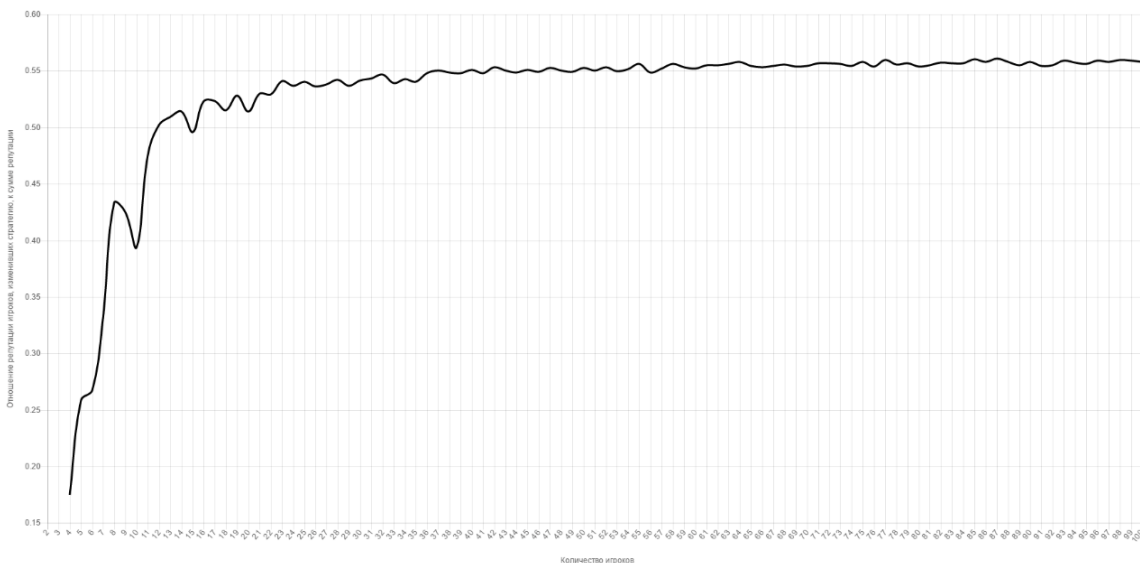


Рис. 2. Результат работы алгоритма с входными параметрами  $r_{\min}=500$ ,  $r_{\max}=1500$ ,  $n=100$

2.  $r_{\min} = 100, r_{\max} = 200, n = 100$ . Результат работы алгоритма показан на рис. 3.

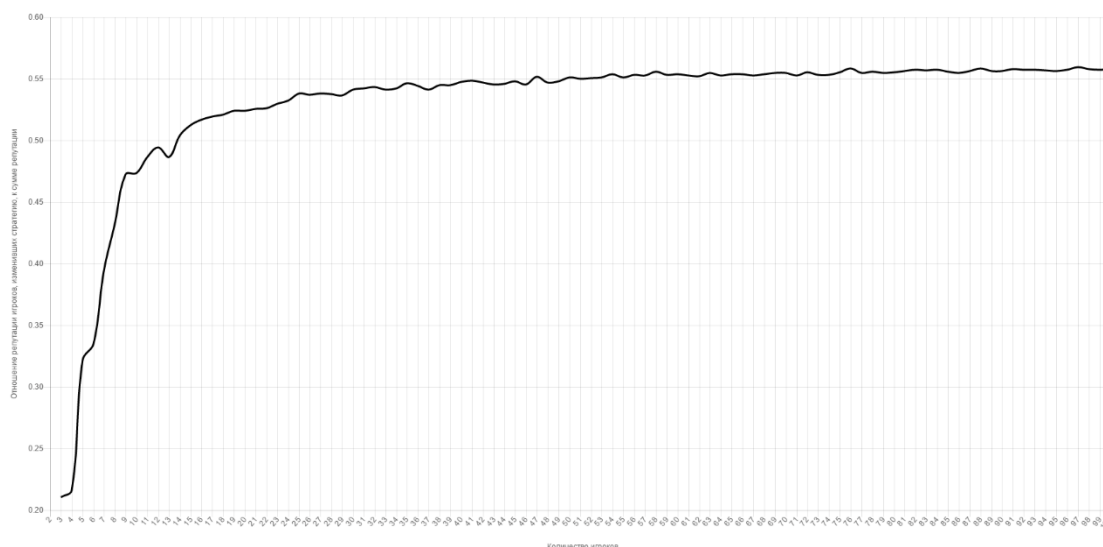


Рис. 3. Результат работы алгоритма с входными параметрами  $r_{\min}=100, r_{\max}=200, n=100$

3.  $r_{\min} = r_{\max} = 1000, n = 100$ . Результат работы алгоритма показан на рис. 4.

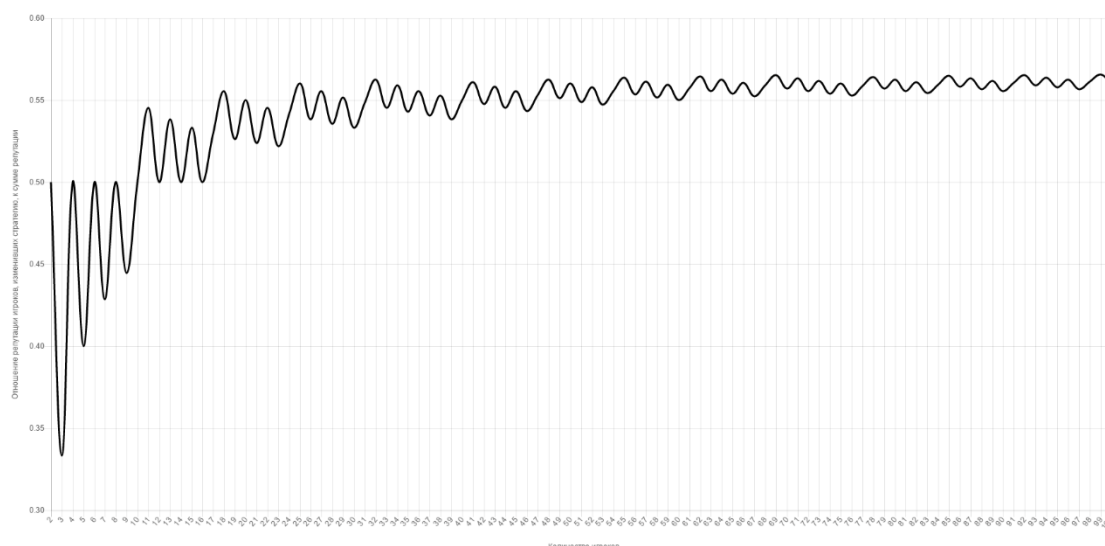


Рис. 4. Результат работы алгоритма с входными параметрами  $r_{\min}=r_{\max}=1000, n=100$

### Результаты и выводы

Как видно из графиков (рис. 2–3), значение отношения первоначальной суммарной репутации игроков, сменивших свои стратегии, к сумме значений репутации всех игроков, принимающих участие в игре,  $\frac{R_N}{R_N}$  при количестве игроков от 2 до 10 стремительно растёт, затем, на участке от 10 до 20 игроков рост замедляется, а при количестве игроков больше 20 наблюдается медленный рост до значения  $\approx 0,56$ .

При равных значениях  $r_{\min}$  и  $r_{\max}$  (рис. 4) кривая имеет ряд колебаний, тем не менее при больших значениях количества игроков колебания происходят вокруг значения 0,56.

Таким образом, можно сделать вывод, что отношение  $\frac{R_N}{R_N}$  не зависит от диапазона значений репутации отдельных игроков и от абсолютных значений репутации.

Для процесса классификации этот вывод означает, что для того чтобы изменилась оценка источника веб-контента, необходимо, чтобы свои оценки изменили агенты, обла-

дающие приблизительно 56 % от суммы значений репутации всех игроков, принимающих участие в оценке источника веб-контента.

#### Библиографический список

1. **Губанов, Д. А.** Модели репутации и информационного управления в социальных сетях / Д. А. Губанов, Д. А. Новиков, А. Г. Чхартишвили // УБС. – 2009. – №26-1. – С. 209–234.
2. **Супруненко, А. В.** Модели и алгоритмы классификации веб-контента на основе игрового подхода // Научно-технический вестник Поволжья. — Казань. – 2016. – № 6. – С. 169–171.
3. **Gradwohl, R.** Fault tolerance in large games / R. Gradwohl, O. Reingold // Proceedings of the 9th ACM Conference on Electronic Commerce. – ACM, 2008. – P. 274–283.
4. **Супруненко, А. В.** Способ экспертной оценки с использованием сети репутации для решения задачи классификации веб-контента // Искусственный интеллект и принятие решений. – Институт системного анализа РАН. М., 2016. – № 3. – С. 72–76.

*Дата поступления  
в редакцию 02.02.2017*

**A. V. Suprunenko**

#### **SEARCH FOR THE EQUILIBRIA IN GAME-THEORETICAL MODEL OF WEB OF TRUST**

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

The article describes search for the equilibria in game-theoretical model of web of trust using evolutionary genetic modeling. The article contains results for specific model.

*Key words:* web of trust, reputation, Nash equilibrium, noncooperative game, evolutionary genetic modeling.



## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 669.228

А.В. Исаев<sup>1</sup>, В.В. Исаев<sup>2</sup>, Т.А. Жирнова<sup>1</sup>, М.Г. Михаленко<sup>2</sup>

### КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАТОДНОГО ОСАЖДЕНИЯ НИКЕЛЯ И ВЛИЯНИЕ НА НИХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗОВ

ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова»<sup>1</sup>,

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева<sup>2</sup>

Рассмотрены кинетические особенности гальванического никелирования из сернокислого электролита, влияние ультрадисперсных алмазов на кинетические особенности катодного осаждения никеля. Установлено, что на катодной поверхности происходит образование коллоидной фазы NiOH, экранирующей поверхность катода. Эта фаза восстанавливается как со стороны катода с участием электронов, так и со стороны раствора с участием адсорбированных атомов водорода. Введение в электролит никелирования ультрадисперсных алмазов, которые адсорбируются на катодной поверхности, приводит к разрыхлению коллоидной фазы, делает коллоидную фазу менее однородной и облегчает катодное восстановление ионов никеля. Ультрадисперсные алмазы, включаясь в никелевое покрытие, повышают его микротвердость и износостойкость.

*Ключевые слова:* никелирование, катодное осаждение, кинетические особенности, коллоидная фаза, ультрадисперсные алмазы, адсорбция.

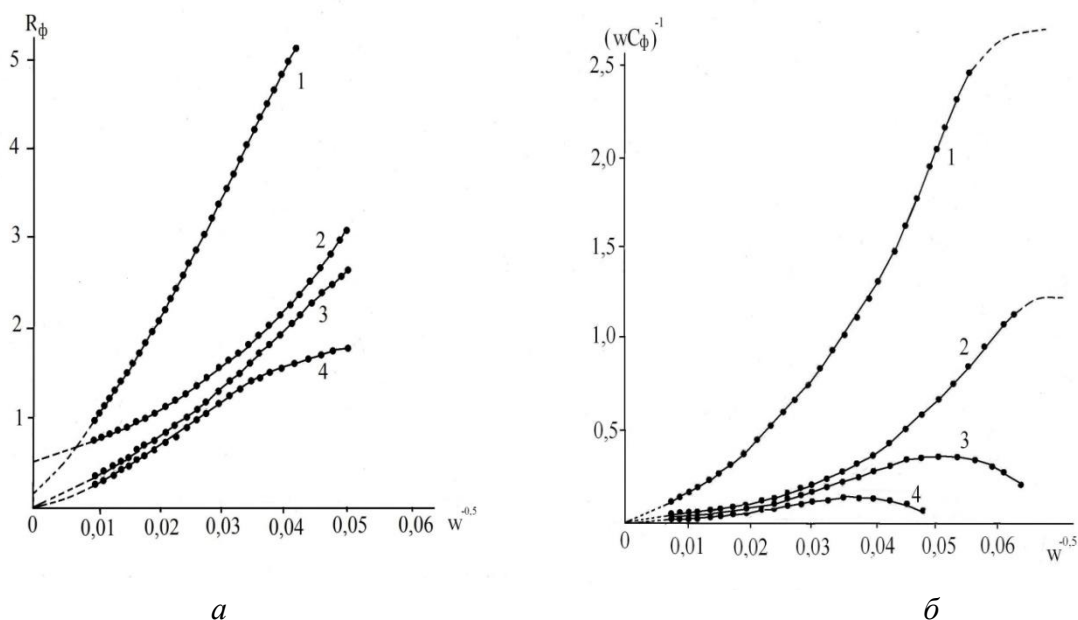
Широкое применение в производстве изделий электронной техники для защитно-декоративных и специальных целей получили покрытия на основе никеля [1-4]. Никель обладает хорошими пластическими свойствами, но пониженной твердостью и износостойкостью [2]. Для улучшения физико-механических свойств никелевых покрытий, таких как микротвердость и износостойкость, в электролиты никелирования предложено вводить нанодисперсные добавки и ультрадисперсные алмазы. В диапазоне концентраций добавок до 20 г/л микротвердость никелевых покрытий увеличивается с 250–350 до 600 кг/мм<sup>2</sup>. Износостойкость покрытия возрастает в восемь раз по сравнению с износостойкостью без добавок. При этом качество никелевого покрытия не ухудшается [5-9]. Эти добавки могут оказать влияние на кинетику катодного осаждения никеля. В данной работе изучены кинетические особенности катодного осаждения никеля и влияние на них ультрадисперсных алмазов.

Для изучения кинетических особенностей катодного осаждения никеля и влияния на этот процесс ультрадисперсных алмазов (УДА) использовался электролит никелирования состава (г/л): NiSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O – 200; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O - 70; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> - 20; NaCl - 8. Исследования проводились при температуре электролита 18 – 20 °С.

Приготовление электролита с ультрадисперсными алмазами осуществлялось добавлением в электролит никелирования основного состава водной суспензии УДА до концентрации 2 г/л. Катодное осаждение никеля проводилось на электроде из никелевой фольги марки НО, содержащие 99,99 % никеля. Он предварительно обезжиривался оксидом магния, промывался в дистиллированной воде, активировался в течение двух минут в концентрированной соляной кислоте и затем промывался в дистиллированной воде. Для электрохимических исследований применяли потенциостат «Элинс Р-30S». Импедансные исследования проводились с применением импедансметра Z-500P. Обработка импедансных измерений проводилась по [10-11].

Сложность выявления кинетических закономерностей осаждения никеля обусловлена непрерывным изменением состояния реакционной поверхности катода. На этой поверхности происходит как разряд ионов водорода, так и никеля (II). Реакция разряда ионов никеля (II) имеет гетерогенный характер и сопровождается образованием новой фазы, которая начинает выполнять функцию катода. Добавка ультрадисперсных алмазов (УДА), введенная в электролит, может оказать влияние, как на кинетические особенности выделения водорода, так и на осаждение никеля.

Для определения влияния УДА на кинетические особенности выделения водорода применялся раствор состава (г/л):  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  - 300;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  - 20;  $\text{NaCl}$  - 8. В этом растворе в отличие от электролита никелирования отсутствуют ионы никеля (II), а сульфат никеля заменён эквивалентным количеством сульфата натрия. В таком электролите на катоде происходило только выделение водорода. С применением импедансного метода установлено наличие химической поляризации, обусловленной затруднённой рекомбинации атомов водорода (рис. 1) [12].



**Рис. 1. Зависимости активной ( $R_\phi$ ) (а) и реактивной ( $(wC_\phi)^{-1}$ ) (б) ( $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$ ) составляющих фарадеевского импеданса от  $w^{-0,5}$  ( $\text{с}^{0,5}$ ) ( $w$  - круговая частота переменного тока) никелевого катода при различных катодных поляризациях (В):**

1 -0,6 ; 2 -0,8 ; 3 -1,0 ; 4 -1,2; при  $t=18^\circ\text{C}$ ;

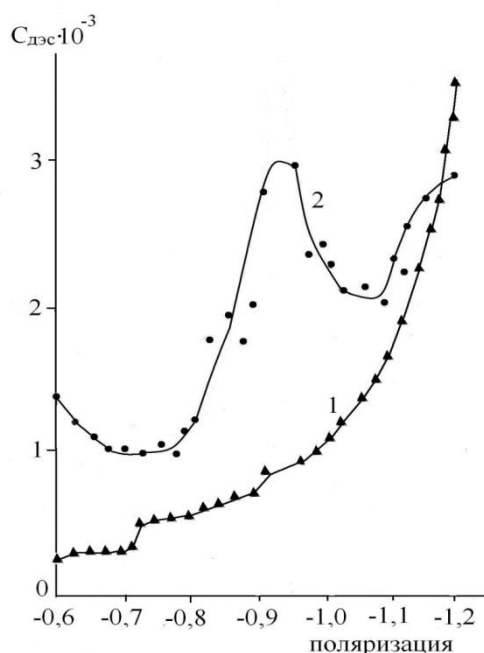
Состав раствора (г/л):  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  - 300;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  - 20;  $\text{NaCl}$  - 8

Активные ( $R_\phi$ ) и реактивные ( $(\omega C_\phi)^{-1}$ ) составляющие фарадеевского импеданса зависят не только от частоты переменного тока, но и от поляризации катода. С ростом катодной поляризации активные и реактивные сопротивления снижаются. Это может быть обусловлено повышением каталитической активности поверхности никелевого катода за счёт уменьшения оксидов никеля на поверхности электрода и восстановления их атомарным водородом.

Добавление в электролит УДА не приводит к изменению сопротивления на границе никелевый катод – электролит, которое составляло  $0,28 - 0,30 \text{ Ом}\cdot\text{см}^2$ , однако значительно изменило ёмкость двойного электрического слоя на границе никелевый катод – электролит (рис. 2).

Увеличение ёмкости двойного электрического слоя с ростом катодной поляризации обусловлено адсорбцией УДА на катодной поверхности. Ультрадисперсные алмазы – это мелкодисперсные коллоидные частицы – мицеллы [6, 13], на каждой из которых имеется собственный двойной электрический слой. Адсорбция этих частиц на поверхности катода и приводит к значительному увеличению емкости ДЭС, что обусловлено изменением строения

границы электрод – раствор вследствие адсорбции положительно заряженных коллоидных частиц УДА. Адсорбированные УДА снижают каталитическую активность поверхности катода и тем самым влияют на гетерогенную химическую реакцию рекомбинации атомов водорода, уменьшая её скорость.



**Рис. 2. Зависимость емкости двойного электрического слоя ( $C_{дэс}$ ) (мкф/см<sup>2</sup>) никелевого электрода от катодной поляризации (В) в растворе состава (г/л):**

1 –  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – 300;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – 20;  $\text{NaCl}$  – 8;

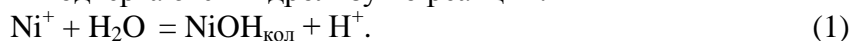
2 –  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – 300;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – 20;  $\text{NaCl}$  – 8; УДА – 2 при  $t = 18^\circ\text{C}$

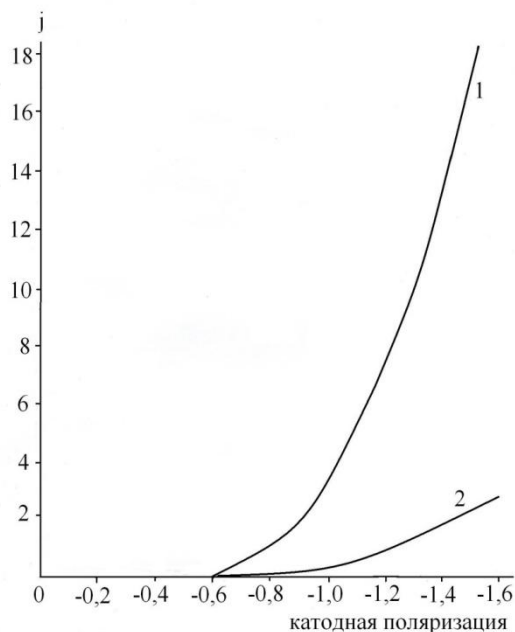
Как отмечалось ранее, на катоде протекают параллельно две электрохимические реакции: *основная* – восстановление ионов никеля и *побочная* – выделение водорода, поэтому для изучения кинетических закономерностей катодного осаждения никеля необходимо определить величины парциальных токов, идущих на эти реакции. Для основного электролита никелирования в области поляризаций от -0,8 до -1,3 В выход по току никеля составлял 98 – 96 %. Таким образом, с достаточной степенью точности можно считать, что практически весь внешний ток идёт на катодное восстановление ионов никеля. И только при поляризациях более отрицательных, чем -1,3 В необходимо учитывать парциальные токи, идущие на выделение водорода.

Сравнивая токи восстановления ионов водорода из раствора, не содержащего ионы никеля, с парциальными токами осаждения никеля из основного электролита никелирования (рис. 3), видно, что токи восстановления водорода значительно превосходят токи восстановления никеля.

В этом случае выход по току для водорода должен быть больше, чем никеля, хотя при никелировании выход по току никеля значительно превышает выход по току водорода. Это несоответствие можно объяснить, если учесть, что как процесс выделения водорода, так и осаждения никеля на катоде – взаимосвязанные между собой процессы, которые взаимно влияют друг на друга. Выделяющийся водород принимает участие в восстановлении ионов никеля до металла, и, следовательно, увеличивает кинетические возможности осаждения никеля.

Механизм катодного восстановления ионов никеля (II) можно представить следующим образом: восстановление ионов никеля (II) происходит ступенчато с присоединением сначала первого, а затем второго электронов. Образующиеся промежуточные ионы никеля (I) накапливаются у катодной поверхности. Силы электростатического притяжения удерживают их у катода, кроме того, эти ионы подвергаются гидролизу по реакции:





**Рис. 3. Катодные потенциодинамические кривые :**

- 1 – кривая восстановления ионов водорода, полученная из электролита состава (г/л):  
 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 300$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3 - 20$ ;  $\text{NaCl} - 8$ ;
- 2 – кривая восстановления ионов никеля, полученная из электролита состава (г/л):  
 $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 200$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 70$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3 - 20$ ;  $\text{NaCl} - 8$ ;
- $j$  – плотность катодного тока (А/дм<sup>2</sup>);  $V$  – катодная поляризация;  
 $(V_{\text{разв}}) - 4 \text{ мВ} / \text{с}$  – скорость развертки потенциала при  $t = 18^\circ\text{C}$

Коллоидная фаза  $\text{NiOH}_{\text{кол}}$ , появившаяся в прикатодном слое, пассивирует катодную поверхность. Количество этой фазы определяется кислотностью электролита никелирования. При повышении кислотности, (снижении pH раствора) количество коллоидной фазы снижается и, наоборот. Так как на никелевом катоде происходит и выделение водорода, который является восстановителем, то коллоидная фаза будет восстанавливаться им.

Таким образом, коллоидная фаза  $\text{NiOH}_{\text{кол}}$ , находящаяся на катодной поверхности, подвергается восстановлению с участием электронов по реакции:



и адсорбированных атомов водорода ( $\text{H}_{\text{адс}}$ ) по реакции:



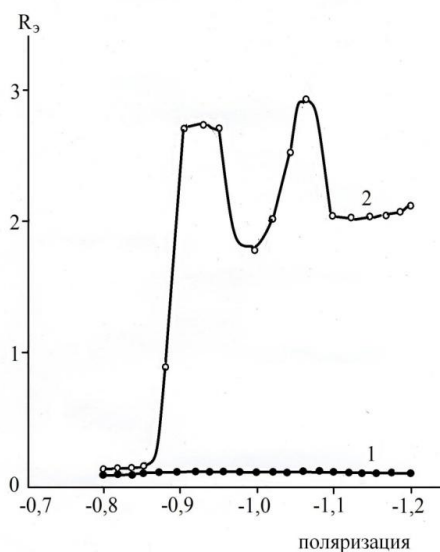
Эти две реакции восстановления протекают с разными скоростями, та из них, которая протекает медленнее и определяет перенапряжение катодного процесса. Если медленнее протекает реакция с участием адсорбированных атомов водорода при восстановлении коллоидной фазы, то процесс контролируется гетерогенной химической реакцией, что наблюдается в электролите без добавки УДА. При наличии затрудненной стадии восстановления фазы  $\text{NiOH}$  с участием электронов катода, электрохимический процесс будет контролироваться переносом заряда, это происходит при введении в электролит УДА.

При высоких поляризациях никелевого катода, когда на нем бурно выделяется водород и происходит значительное подщелачивание прикатодного пространства, у катодной поверхности ионы никеля (II), подвергаясь гидролизу, могут образовывать гидроксид никеля (II) или основные соли никеля, осаждающиеся на катодной поверхности и препятствующие катодному восстановлению никеля до металла. У электрохимического процесса в этом случае могут появиться несколько видов перенапряжений: перенапряжение переноса электрона, диффузии, химической реакции.

УДА, добавляемые в электролит никелирования, изменяют каталитическую активность никелевого катода. Ёмкость двойного электрического слоя с  $450 \text{ мкФ} / \text{см}^2$  снизилась

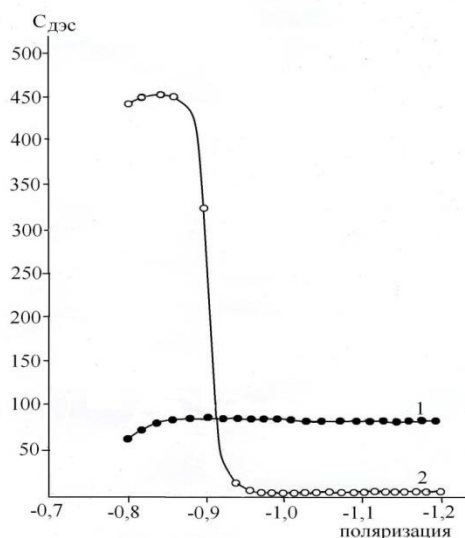
практически до нуля в области поляризаций отрицательнее  $-0,95$  В (рис. 4), а сопротивление на границе никелевый катод - электролит резко возросло с  $0,10$  до  $2,0 - 3,0$  Ом·см<sup>2</sup> (рис. 5).

Такое значительное возрастание сопротивления на границе никелевый катод - электролит обусловлено образованием на катодной поверхности плотной адсорбционной плёнки ультрадисперсных алмазов. Образующаяся адсорбционная плёнка УДА резко увеличивает сопротивление на границе никелевый катод - раствор, при этом ёмкость ДЭС за счет включения ультрадисперсных алмазов в плотную часть двойного электрического слоя снижается практически до нуля. Введение УДА сказалось и на катодных токах восстановления ионов никеля. В области поляризаций до  $-1,5$  В катодные токи возросли (рис. 6), а при больших катодных поляризациях - наоборот снизились.



**Рис. 4. Зависимость сопротивления на границе никелевый электрод - раствор ( $R_s$ ) (Ом·см<sup>2</sup>) от катодной поляризации (В) в растворах состава (г/л):**

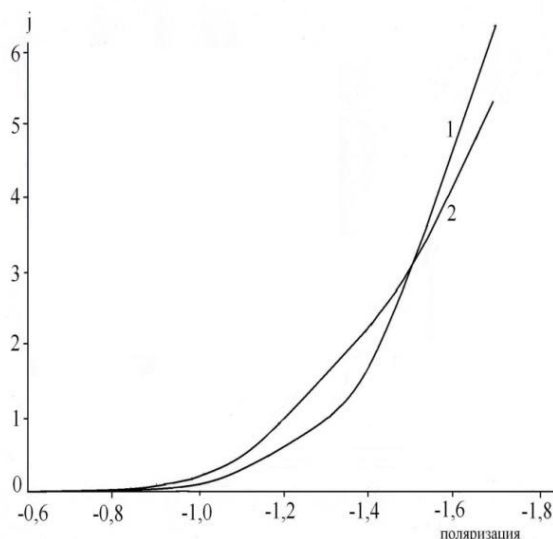
1 –  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 200$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 70$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3 - 20$ ;  $\text{NaCl} - 8$ ;  
2 –  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 200$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 70$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3 - 20$ ;  $\text{NaCl} - 8$ ; УДА -2;  
 $t = 18^\circ\text{C}$



**Рис. 5. Зависимость емкости двойного электрического слоя ( $C_{дэс}$ ) (мкф/см<sup>2</sup>) никелевого электрода от катодной поляризации (В) в растворах состава (г/л):**

1 –  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 200$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 70$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3 - 20$ ;  $\text{NaCl} - 8$ ;  
2 –  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 200$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 70$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3 - 20$ ;  $\text{NaCl} - 8$ ; УДА -2;  
при  $18^\circ\text{C}$

Ультрадисперсные алмазы, адсорбируясь на поверхности катода, разрыхляют коллоидную фазу гидроксида никеля (II), делают её менее однородной и более проницаемой. Это приводит к ускорению её восстановления, и вследствие этого увеличению катодного тока восстановления ионов никеля, что и наблюдается в области поляризаций положительнее  $-1,5$  В (рис. 6).



**Рис. 6. Катодные потенциодинамические кривые восстановления ионов никеля, полученные на никелевом катоде из растворов состава (г/л):**

1 –  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 200$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 70$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3 - 20$ ;  $\text{NaCl} - 8$ ;  
 2 –  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} - 200$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O} - 70$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3 - 20$ ;  $\text{NaCl} - 8$ ; УДА -2;  
 $t = 18^\circ\text{C}$ ; ( $V_{\text{разв}}$ ) - 4 мВ/с – скорость развертки потенциала;  
 $j$  – катодная плотность тока ( $\text{А/дм}^2$ ); В – поляризация

Уменьшение суммарного катодного тока при поляризации отрицательнее  $-1,5$  В обусловлено снижением скорости выделения водорода при добавлении в электролит ультрадисперсных алмазов.

### Выводы

1. Изучены кинетические особенности выделения водорода на никелевом катоде из электролита близкого по составу к электролиту никелирования, не содержащего ионов никеля (II). Показано, что восстановление ионов водорода лимитируется химической реакцией рекомбинации атомов водорода.
2. Введение ультрадисперсных алмазов затрудняет химическую реакцию рекомбинации и тем самым снижает катодный ток восстановления ионов водорода.
3. Изучены кинетические особенности катодного восстановления ионов никеля (II) в сульфатном электролите никелирования. Восстановление ионов никеля (II) происходит стадийно с образованием коллоидной фазы  $\text{NiOH}$ , которая затрудняет данный процесс.
4. Ультрадисперсные алмазы, адсорбируясь на катодной поверхности, разрыхляют коллоидную фазу и способствуют более быстрому восстановлению ионов никеля.

### Библиографический список

1. **Ямпольский, А.М.** Меднение и никелирование / А.М. Ямпольский. – Л.: Машиностроение, 1977. – 136 с.
2. **Глирихес, С.Я.** Электролитические и химические покрытия. Теория и практика / С.Я. Глирихес, К. И. Тихонов. – Л.: Химия, 1990. – 288 с.

3. **Вайнер, Я.В.** Технология электрохимических покрытий / Я.В. Вайнер, М. А. Дасоян. – Л.: Машиностроение, 1972. – 367 с.
4. **Садаков, Г.А.** Гальванопластика / Г.А. Садаков. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
5. **Буркат, Г.К.** Ультрадисперсные алмазы в гальванотехнике / Г.К. Буркат, В.Ю. Долматов // Физика твердого тела. – 2004. – Т. 46. – Вып. 4 – С. 685–692.
6. **Беленков, Е. А.** Наноалмазы и родственные углеродные наноматериалы. Компьютерное материаловедение / Е. А. Беленков, В. В. Ивановская, А. Л. Ивановский. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008.
7. **Долматов, В. Ю.** Получение и свойства электрохимических композиционных покрытий благородными и цветными металлами с ультрадисперсными алмазами детонационного синтеза / В. Ю. Долматов, Г. К. Буркат, В. Ю. Сабурбаев [и др.] // Сверхтвердые материалы. – 2002. – № 2. – С. 52–57.
8. **Долматов, В. Ю.** Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза как основа нового класса композиционных металл-алмазных гальванических покрытий // В. Ю. Долматов, Г. К. Буркат // Сверхтвердые материалы. – 2000. – № 1. – С. 84–95.
9. Galvanica.su – гальваника, строительство и обработка поверхности – Windows Internet Explorer Ультрадисперсные алмазы в гальванотехнике. Специальное конструкторско-технологическое бюро. Технолог Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).
10. **Галюс, З.** Теоретические основы электрохимического анализа / З. Галюс. – М.: Мир, 1974. – 550 с.
11. **Дамаскин, Б.Б.** Принципы современных методов изучения электрохимических реакций / Б.Б. Дамаскин. – М.: МГУ, 1965. – 213 с.
12. **Феттер, К.** Электрохимическая кинетика / К. Феттер. – М.: Химия, 1967. – 855 с.
13. **Воюцкий, С.С.** Курс коллоидной химии / С.С. Воюцкий. – М.: Химия, 1964. – 574 с.

*Дата поступления  
в редакцию 29.12.2016*

**A.V. Isaev<sup>1</sup>, V.V. Isaev<sup>2</sup>, T.A. Zhirnova<sup>1</sup>, M.G. Mikhalenko<sup>2</sup>**

### **KINETIC FEATURES OF CATHODIC DEPOSITION OF NICKEL AND THE INFLUENCE OF ULTRADISPERSED DIAMONDS**

Scientific research institute of measuring systems n. a. Y. E. Sedakova<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev<sup>2</sup>

Examined the kinetic features of electroplated nickel from sulphate electrolyte, the influence of ultradispersed diamonds on the kinetic features of cathodic deposition of nickel. It is established that on the cathode surface the formation of a colloidal phase NiOH, shielding the surface of the cathode. This phase is recovered both from the side of the cathode with the participation of electrons, and the solution with the participation of adsorbed hydrogen atoms. Introduction in the electrolyte of the nickel ultrafine diamonds which are adsorbed on the cathode surface, leads to loosening of the colloidal phase and facilitates the cathodic reduction of ions of nickel. Ultradispersed diamonds in a pattern in nickel plated to increase its hardness and wear resistance.

*Key words:* nickel plating, cathodic deposition, kinetic characteristics, colloid phase, ultradispersed diamonds, adsorption.

УДК 620.179

**А.Ю. Сидоров, В.Е. Десятников, Д.В. Коробов****КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ  
ПЕРВОГО КОНТУРА СУДОВЫХ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК  
НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ**АО «Опытное конструкторское бюро машиностроения им. И.И. Африкантова»,  
г. Нижний Новгород

Приводятся результаты проведенных комплексных исследований состояния трубопроводов первого контура судовых реакторных установок неразрушающими методами контроля (акустические и вибрационные), с целью обоснования безопасной эксплуатации атомной реакторной установки (РУ) в пределах продляемого ресурса и срока службы систем и оборудования.

*Ключевые слова:* система компенсации давления (СКД); система охлаждения и расхолаживания (СОиР); накопленная эксплуатационная поврежденность; собственная частота; вынужденные колебания трубопроводов.

**Введение**

Трубопроводы в энергетических установках являются одним из самых распространенных элементов. Трубопроводы связаны с агрегатами высокого давления, циркуляционными насосами, турбоагрегатами, с элементами, имеющими большие нестационарные расходы рабочих сред [1].

На трубопроводы энергетических установок воздействует сложный спектр нагрузок, обусловленных конструктивно-технологическими и эксплуатационными факторами, который вызывает в них переменные и постоянные напряжения. Уровень напряжений определяется как видом и интенсивностью нагрузок, так и пространственно-геометрическими особенностями трубопроводов, жесткостью отдельных участков труб и опор, механическими и упругопластическими характеристиками материалов трубопроводов, их элементов и опор. В частности, эксплуатационная поврежденность материала конструктивных элементов трубопроводов СКД и СОиР, входящих в состав системы первого контура РУ, в той или иной степени зависит от термо- и виброн нагруженности оборудования.

Длительный срок эксплуатации приводит к проявлению различных механизмов деградации конструкционных материалов, значительная часть которых происходит скрытно и поврежденное состояние материала конструктивного узла не может быть выявлено в течение инкубационного периода традиционными методами неразрушающего контроля. Примером такого инкубационного периода является фаза накопления рассеянных по объему материала усталостных повреждений, предшествующая образованию усталостной трещины. Поэтому важную роль играет определение состояния объектов, которое вследствие воздействия внешних и внутренних факторов изменяется с течением времени.

В штатных эксплуатационных условиях для несменяемого оборудования и систем основными механизмами деградации конструкционных материалов (за исключением активной зоны) являются [2]:

- многоцикловая термическая усталость;
- малоцикловая термическая усталость;
- развитие усталостных трещин;
- коррозия под напряжением.

Вибрации трубопроводов часто могут достигать значительных величин и служить причиной разрушения элементов энергетических установок. Их длительная работа с повы-



шенной вибрацией может привести к увеличению темпов накопления усталостных повреждений элементов трубопроводов, сокращению их усталостной долговечности, зарождению и развитию усталостных трещин. Распространенным видом отказа является разгерметизация трубопроводов из-за их усталостных разрушений при вибрации.

Оценка вероятности появления дефектов трубопроводов при конкретных условиях их работы в общем случае включает задачу по определению фактической поврежденности конструкционного материала трубопроводов и характеристик вибраций, которым подвергаются конструкции энергетических установок. Поэтому большое значение имеют экспериментальные комплексные исследования фактического состояния элементов трубопроводов. Данные исследования дают важную реальную информацию о нагруженности трубопроводов, а периодический контроль за величинами накопленной эксплуатационной поврежденности материала трубопроводов позволяет расчетному анализу проводить оценку их текущего состояния и как следствие определять остаточный ресурс.

### **Цель и методика исследований**

Целью обследований являлось:

- экспериментальное определение накопленной эксплуатационной поврежденности материала конструктивных элементов СКД и СОиР РУ;
- определение собственных частот участков трубопроводов СКД и СОиР;
- определение уровней вынужденных колебаний участков трубопроводов при работающем оборудовании.

### **Определение накопленной эксплуатационной поврежденности материала**

Объектами исследований для определения накопленной эксплуатационной поврежденности являлся материал околошовных зон сварных соединений трубопроводов СКД и СОиР РУ атомных ледоколов. Контролируемые узлы выбирались на основании результатов прочностных расчетов, опыта проектирования, эксплуатации и анализа имевших место отказов.

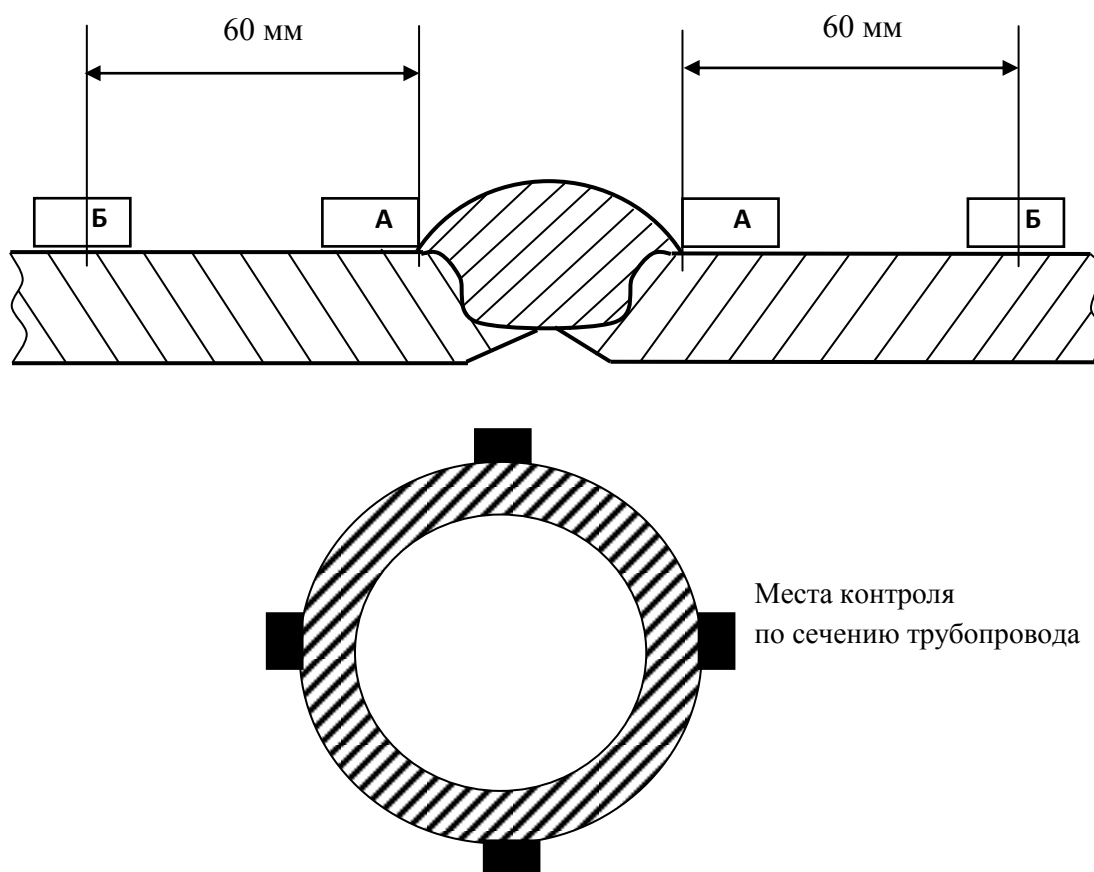
Ключевым вопросом в проблеме мониторинга технического состояния оборудования и систем ЯЭУ атомных ледоколов является вопрос выбора физического метода определения характеристик поврежденности материала, а также проведение комплекса экспериментальных исследований с целью установления соответствующих функциональных или корреляционных связей. Среди неразрушающих физических методов контроля состояния материала одним из наиболее перспективных следует признать акустический метод.

В настоящее время в АО «ОКБМ Африкантов» проходит экспериментальную отработку, адаптацию и внедрение для контроля оборудования и трубопроводов, определяющих ресурс РУ, метод контроля накопленной эксплуатационной поврежденности. Актуальность такого контроля несомненна, так как именно в сварных соединениях трубопроводов происходит зарождение основной массы макродефектов.

Акустический метод контроля поврежденности реализован в системе ИВК «Астрон», состоящего из средств измерения и математического обеспечения, позволяющего по результатам измерений параметров акустических импульсов, распространяющихся в материале объекта контроля, проводить оценку объемной поврежденности материала.

ИВК «Астрон» (ООО «Интеллект-НН») предназначен для измерения временных интервалов между импульсами упругих волн, распространяющимися в материале исследуемого объекта, и отношения размахов регистрируемых импульсов.

Измерения накопленной поврежденности конструктивных элементов трубопроводов 1-го контура атомных ледоколов проводились по обе стороны от валика усиления сварного шва (в технически возможном объеме) в четырех точках поперечных сечений околошовных (у края валика усиления шва) и периферийных (60 мм от края валика усиления шва, в зоне основного металла) областей. Точки измерений расположены эквидистантно по сечению трубы (рис. 1).



**Рис. 1. Расположение точек измерения относительно валика усиления сварного шва:**

А – датчик, производящий измерения в околошовной области;

Б – датчик, производящий измерения в периферийной (зона основного металла) области

В процессе исследований проводились измерения задержек импульсов объемных волн с продольной и поперечной поляризацией необходимых для расчета накопленной эксплуатационной поврежденности материала по разработанной методике.

Для расчета накопленных повреждений использовался подход, связывающий процесс деградации материала с изменениями параметров акустических волн. В основу подхода заложено то, что наиболее адекватная мера наработки материала для процесса накопления усталостных повреждений в объеме материала является плотность энергии, затраченная на образование дефектов в данном объеме [1]. Предельное состояние данного объема материала (образование макроскопической трещины определенной длины) достигается тогда, когда энергия, затраченная на образование дефектов, достигает критической величины. То есть методика расчета накопленных повреждений основана на определенной связи между энергией, затраченной на пластическое деформирование, и параметрами акустических волн.

Методика была отработана на образцах из сталей аустенитного и перлитного класса при испытаниях на многоцикловую и малоцикловую усталость при одноосном симметричном растяжении – сжатии и термопульсациях [3].

### **Исследование вибрационного состояния элементов трубопроводов**

Для исследования вибрационного состояния трубопроводов СКД и СОиР использовалась измерительная система, состоящая из измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) МІС-200 с усилителем заряда типа МЕ-908 (ООО НПП «Мера») и пьезоакселерометров типа 4371. ИВК МІС-200 оснащен специализированными программными пакетами регистрации и математической обработки, полученных временных сигналов.

Пространственные схемы исследуемых трубопроводов СКД и СОиР приведены на рис. 2, 3.

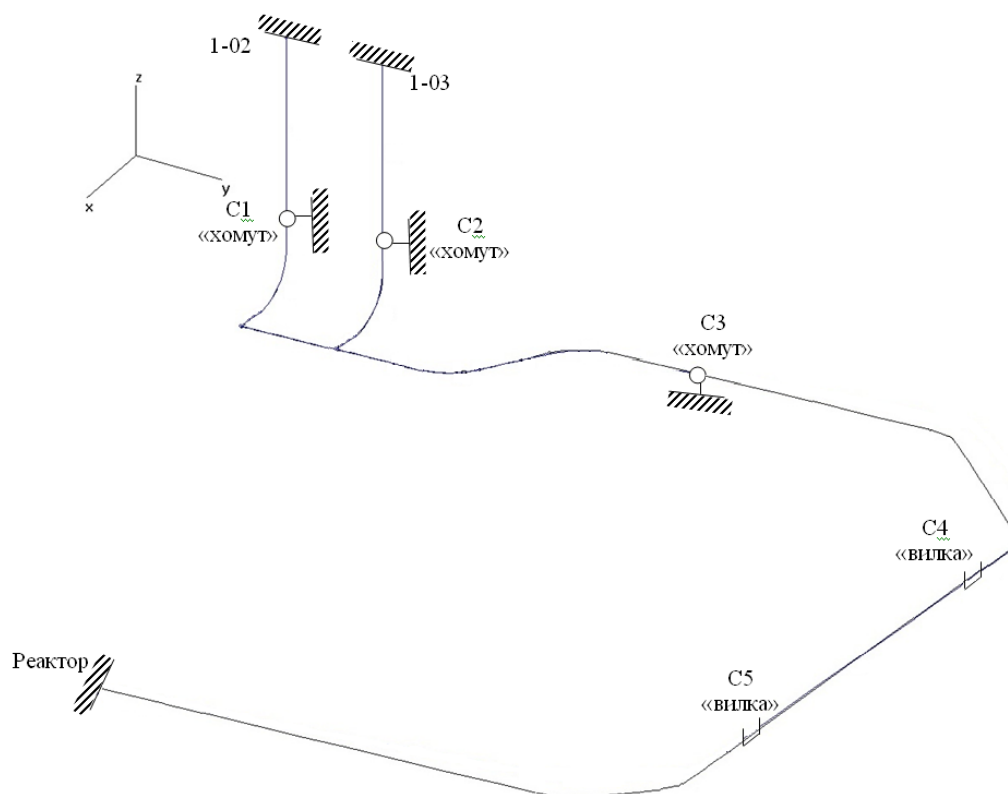


Рис. 2. Пространственная схема трубопроводов СОиР

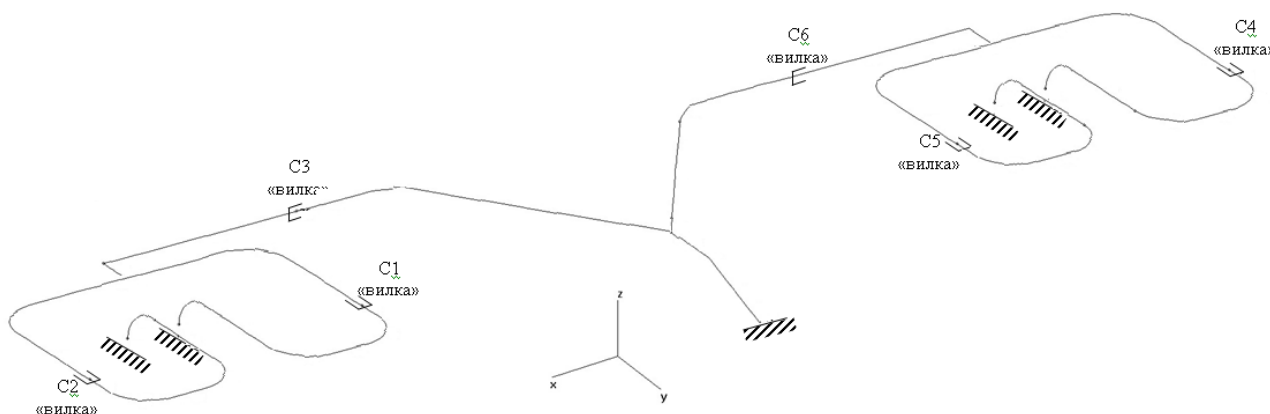


Рис. 3. Пространственная схема трубопроводов СКД

Одной из задач определения собственных частот являлась проверка функционирования опор трубопроводов. При колебаниях трубопроводов возникают усилия, под действием которых происходит деформирование опор, вследствие чего происходят перемещения и повороты опорных сечений трубопроводов. Упругие деформации опор снижают собственные частоты колебаний трубопроводов [2].

Важным этапом, в рамках проведенных исследований, являлась проверка выполнения условий отстройки собственных частот от вынужденных колебаний, вызываемых внешним оборудованием (например, циркуляционным насосом). Условие отстройки собственных частот для первых трех форм колебаний принималось в виде [4]:

$$\Omega_i / \omega \geq 1,3 \text{ или } \Omega_i / \omega \leq 0,7,$$

где  $\omega$  – частота возбуждения;  $\Omega_i$  – низшая собственная частота колебаний ( $i=1,2,3$ ).

Определение собственных частот колебаний участков трубопроводов выполнялось "методом начальных отклонений". Измерения проводились в серединах участков трубопроводов между опорами в двух взаимоперпендикулярных направлениях. Обработка полученных результатов осуществлялась в программном продукте WinПОС (ООО НПП «Мера»).

Определение параметров вынужденных колебаний участков трубопроводов СОиР проводилось при штатных параметрах работы насосного оборудования. При работающем насосном оборудовании фиксировались параметры вибрации в двух взаимоперпендикулярных направлениях в серединах участков трубопроводов.

В качестве параметра для оценки вибропрочности трубопроводов была выбрана амплитуда виброперемещения, которая пропорциональна возникающим в трубопроводах напряжениям и является показателями прочности трубопроводов (в случае колебаний близких к гармоническим) [2].

Исходя из анализа эксплуатируемого оборудования первого контура, являющегося источником вынужденных колебаний трубопроводов, был выбран частотный диапазон до 1000 Гц, учитывающий оборотные и лопастные частоты циркуляционных насосов. Высоко-частотные вибрации, обусловленные акустическими шумами и кавитационными процессами, не рассматривались в виду незначительного влияния на прочность конструкции.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Определение накопленной поврежденности в материале трубопроводов

По измеренным задержкам ультразвуковых импульсов в зонах контроля с помощью разработанной методики проведен расчет накопленной эксплуатационной поврежденности материала околошовных зон сварных соединений трубопроводов 1-го контура атомных ледоколов.

В целом полученные данные свидетельствуют о хорошей чувствительности акустического метода к структурным изменениям в материале контролируемых трубопроводов и возможности выявления опасных мест, которые невозможно учесть в расчетах.

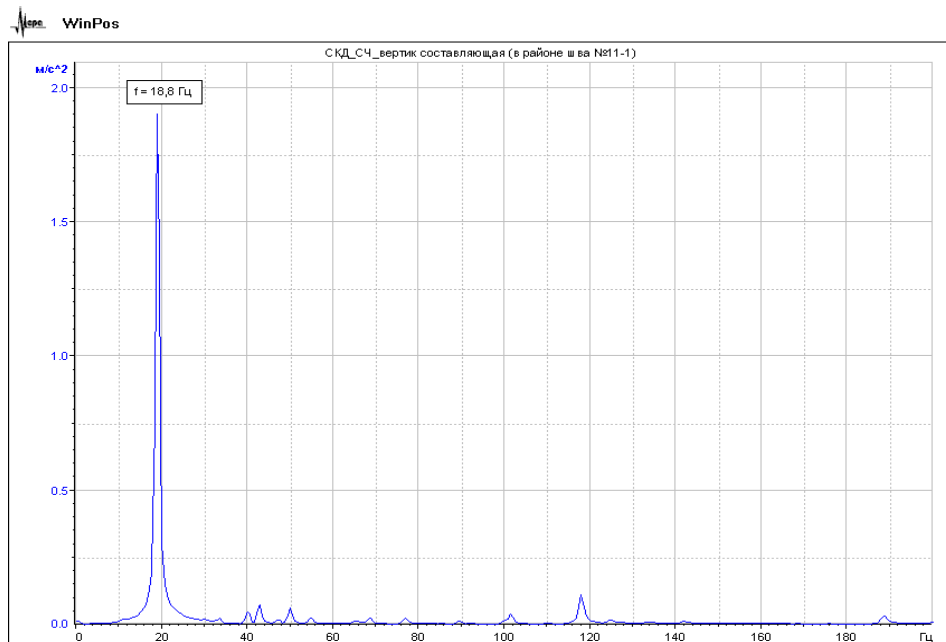
По итогам проведенных исследований, значение поврежденности материала трубопроводов СКД и СОиР не превышает 0,2.

### Исследование вибрационного состояния элементов трубопроводов

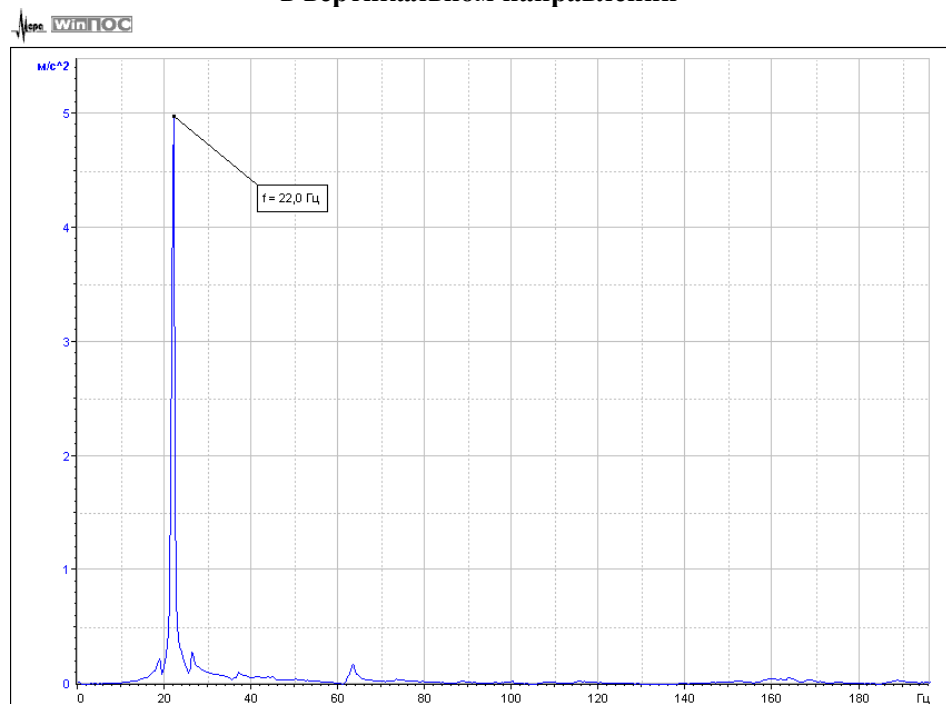
В результате проведенных исследований были получены осциллограммы свободных затухающих колебаний доступных участков трубопроводов СКД и СОиР. С использованием математического аппарата программного пакета WinПОС получены спектры колебательных процессов. По результатам анализа полученных спектров были определены низшие частоты собственных колебаний участков трубопроводов, которые составили: 18,8 Гц и 22,0 Гц для трубопроводов СКД и СОиР соответственно (рис. 4, 5).

Полученные собственные частоты полностью удовлетворяют условиям отстройки от возбуждающей вынужденной частоты вибрации, возникающей как от работающего оборудования, так и при движении судна.

В результате исследований вибраций трубопроводов СОиР при работающем оборудовании получено, что максимальная амплитуда виброперемещения зафиксирована на номинальной частоте вращения двигателя циркуляционного насоса расхолаживания и не превышала 40 мкм. При таком уровне вибраций амплитуда напряжений, возникающих в трубопроводе, значительно меньше уровня допускаемых напряжений.



**Рис. 4. Низшие частоты собственных колебаний трубопроводов СКД в вертикальном направлении**



**Рис. 5. Низшие частоты собственных колебаний трубопроводов СОиР в вертикальном направлении**

### Заключение

По результатам комплексных исследований определены параметры воздействия вибрационных нагрузок, создаваемых оборудованием РУ, фактическое состояние материала трубопроводных систем и подтверждено соответствие элементов трубопроводов требованиям нормативной документации.

Результаты исследований позволили провести уточненный расчет напряженно-деформированного состояния конструкции и степени поврежденности исследуемых трубопроводных систем первого контура для обоснования дальнейшей безопасной эксплуатации РУ.

**Библиографический список**

1. Методы обоснования ресурса ядерных энергетических установок / Ф.М. Митенков, В.Б. Кайдалов, Ю.Г. Коротких [и др.]; под общ. ред. Ф.М. Митенкова. – М.: Машиностроение, 2007.– 448с.
2. **Самарин, А.А.** Вибрации трубопроводов энергетических установок и методы их устранения / А.А. Самарин. – М.: Энергия, 1979. – 288 с.
3. **Захаров, Д.А.** Методология оценки накопленных повреждений акустическим методом в сталях аустенитного класса при малоцикловом нагружении / Д.А.Захаров [и др.] // Наука и технологии: материалы XXXIV Всероссийской конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика В.П. Макеева. – М.: РАН, 2014. – Т. 3.– С. 96–105.
4. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок ПНАЭ Г-7-002-86. – М., 1986.

*Дата поступления  
в редакцию 12.01.2017*

**A. YU. Sidorov, V. Y. Desyatnikov, D. V. Korobov**

**A COMPREHENSIVE STUDY OF THE PIPELINES OF THE PRIMARY CIRCUIT  
OF THE SU-DOVICH REACTOR INSTALLATIONS  
OF NON-DESTRUCTIVE METHODS**

JSC «Experimental design bureau of machine building named after I. I. Afrikantov»,  
Nizhny Novgorod

The article presents the findings of a comprehensive study of the condition of pipelines of the first contour of reactor installations of marine non destructive testing (acoustic and vibration), to justify safe operation of a nuclear reactor unit (ru) within the renewable resource and service life of systems and equipment.

*Key words:* pressure compensation system (acs); cooling system and cooling (soir); the cumulative operational damage; natural frequency; forced vibrations of pipelines.

УДК 621

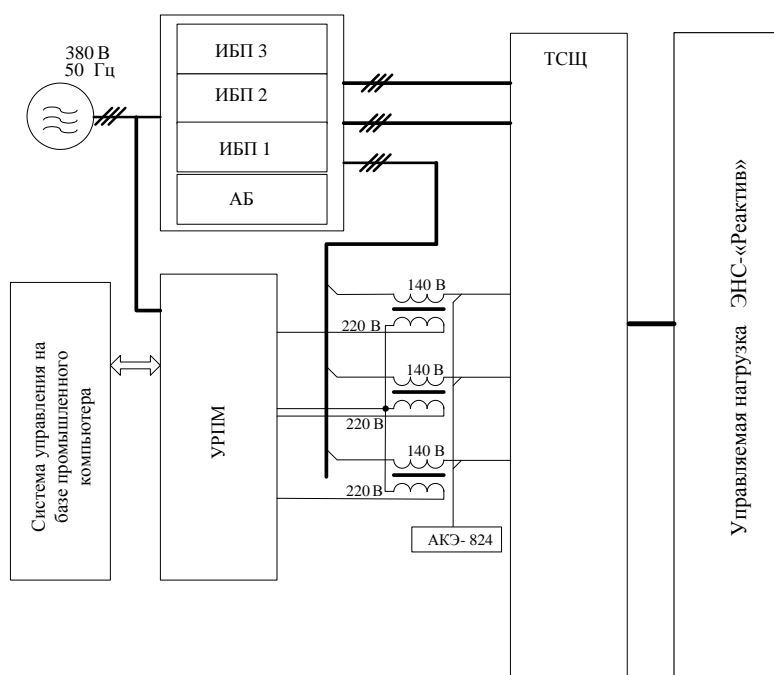
А.И. Чивенков<sup>1</sup>, Н.Н. Вихорев<sup>1</sup>, И.М. Трофимов<sup>1</sup>, А. Гедифа<sup>2</sup>**ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ SMART GRID**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
Entreprise Bâtiment et travaux publics, Algérie Zone industrielle à M'Sila<sup>2</sup>

Приведены описание физической модели Smart grid, задачи и результаты исследований регулирования величин потоков мощности в распределённой сети низкого напряжения.

*Ключевые слова:* физическая модель, распределённая сеть, Smart grid, регулирование, потоки мощности.

Задачи оптимизации параметров потоков мощности в сетях электроснабжения рассматривались начиная с конца XIX века. На сегодняшний день они не стали менее актуальными [1]. Теоретические исследования фундаментальны, но всё подтверждается практикой, последовательностью экспериментов.

С целью проведения экспериментальных исследований регулирования потоков мощности в электрических сетях низкого напряжения в лаборатории ИНЭЛ НГТУ была создана физическая модель распределённой электрической сети (рис. 1).



**Рис. 1. Структурная схема физической модели распределённой сети (Smart grid)**

В целом физическая модель включает в себя три синхронизированных трёхфазных источника питания (ИБП-1 ИБП-2 ИБП-3) на базе однофазных многофункциональных автономных преобразователей МАП SIN HYBRID (9 шт.), производства ООО «МикроАРТ» г. Москва (рис. 2). Каждый преобразователь имеет генерируемую мощность 3 кВА.

Все преобразователи смонтированы в двух конструктивных стойках и генерируют полную мощность 27 кВА.

Цепь питания ИБП-1 с регулируемыми параметрами величины и фазового угла напряжения, обеспечиваемыми полупроводниковым преобразователем напряжения (устройство регулирования потоков мощности – УРПМ) с последовательно включенными в каждой фазе серийными трансформаторами (ВД). Цепи питания ИБП-2, ИБП-3 – нерегулируемые.

На рис. 2 представлена схема транзитного щита, посредством которого всё оборудование формируется в единый автоматизированный узел регулирования потоков мощности (АУРПМ). На рис. 3 приведён внешний вид лабораторного оборудования.

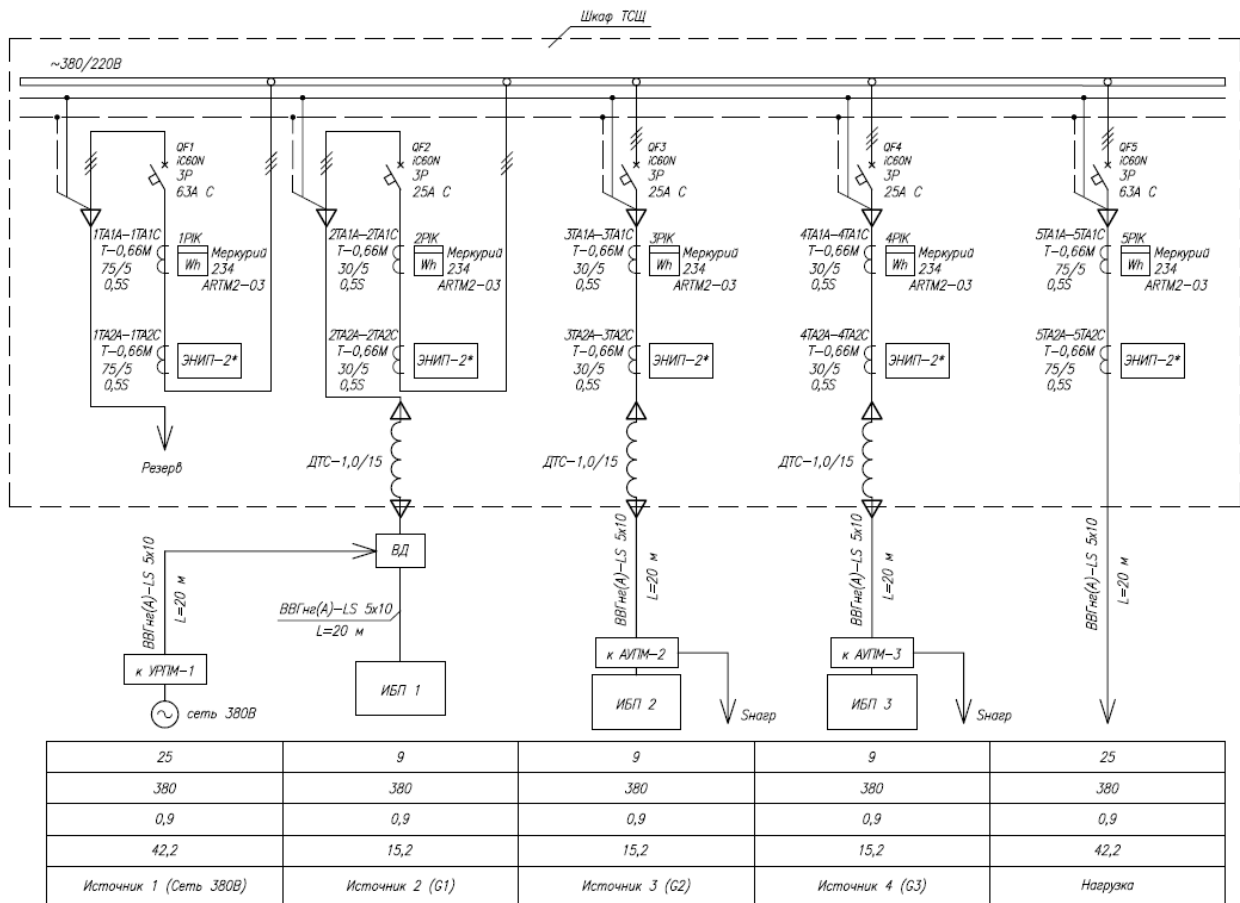


Рис. 2. Схема транзитного силового электрического щита



Рис. 3. Комплект оборудования физической модели Smart grid

Распределённые сети электроснабжения Smart grid предполагают автоматизированное регулирование потоков мощности в узлах нагрузки. Рассмотрим упрощённую схему узла на-



грузки с двумя подходящими линиями электропитания и одной отходящей линией нагрузки потребителей (рис. 4).

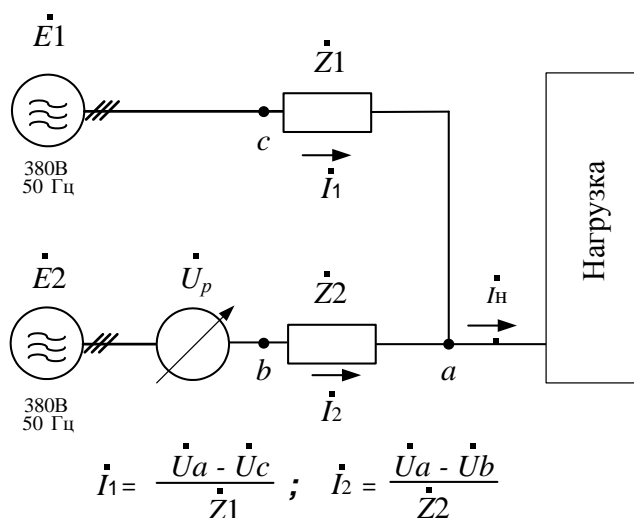


Рис. 4. Упрощенная схема распределённой сети

На рис. 4 имеются два источника питания, в первой линии электропитания не предусмотрена возможность регулирования величины и фазового угла напряжения, во второй линии установлено УРПМ, позволяющее изменять параметры напряжения в точках *a* и *b*. Комплексные сопротивления *Z1* и *Z2* отображают параметры сетевых дросселей (ДТС - 0,1/15 в соответствии с обозначениями на рис. 2).

При равенстве величин и фазовых углов напряжений в точках *a* и *b*, выполняем за счёт регулирования *U<sub>p</sub>* (УРПМ), величина тока второй линии становится равной нулю, аналогично при условии равенства напряжений в точках *a* и *c* становится равным нулю ток второй линии, т.е. возможно сформировать «буферный режим» работы двух источников питания в сети переменного тока.

При исследовании соблюдены условия поддержания допустимого отклонения величины напряжения на нагрузке  $\pm 5\%$  от номинального значения посредством регулирования параметров напряжения УРПМ.

Перераспределение величин потоков мощности в распределительной сети с точками подключения дополнительных источников питания позволит выровнять величины потоков мощности, снизить потери перегруженных линий электроснабжения, повысить пропускную способность линий за счёт снижения реактивной составляющей мощности передаваемой электроэнергии, компенсировать дефицит электроэнергии потребителей.

### Последовательность и данные проведённых исследований

Для облегчения восприятия приняты названия основных цепей:

- цепь питания ИБП1 (УРПМ) – **резервная сеть**;
- цепь питания ИБП2 – **основная сеть**.

1. Включены ИБП1, ИБП2. Включена цепь питания нагрузки от основной сети QF3 ТСЩ. Включена цепь питания УРПМ. Выровнены напряжения в точках *a* и *b*.

Произведено подключение цепи питания резервной сети (УРПМ) к сети нагрузки.

Амплитудные значения напряжений: резервная сеть 329 В; основная сеть 324 В.

При данных параметрах напряжений соответствующие токи сетей составили: ток резервной сети 1,1 А; ток основной сети 15,5 А; ток нагрузки 16,1 А.

Результатом является буферный режим работы резервной сети с малым током.

Источником питания нагрузки является основная сеть (ИБП2).

2. При отключении QF3 основной сети, т.е. ток основной сети соответствует нулево-

му значению, резервная сеть, работающая в буферном режиме, принимает всю нагрузку на себя с зафиксированной задержкой по времени равной 10 мкс.

Значения зафиксированных токов: основная сеть 0 А; резервная сеть 16,1 А; ток нагрузки 16,1 А.

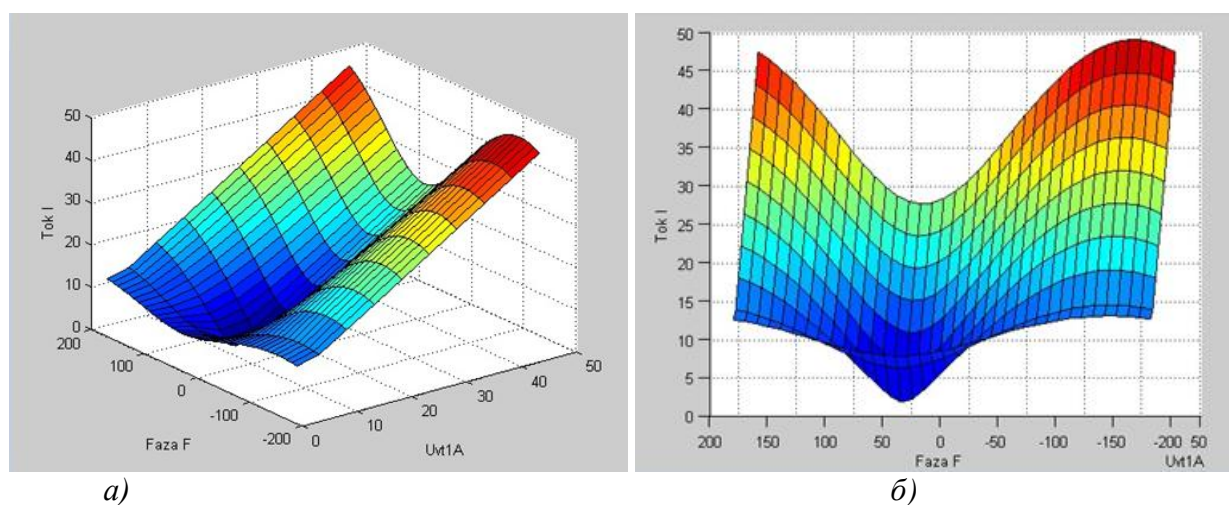
При включении QF3 зафиксирован обратный переход потока мощности с резервной сети на основную.

3. Регулирование величины и фазового угла напряжения резервной сети позволило управлять величинами потоков мощности в обеих линиях электропитания.

Полученные величины соотношений позволили выявить закономерные связи между параметрами напряжения УРПМ и величинами токов основной и резервной сетей.

Графические зависимости полученных результатов отображены на рисунках:

- амплитуды токов (А) основной сети рис. 5;
- амплитуды токов (А) резервной сети (УРПМ) рис. 6.

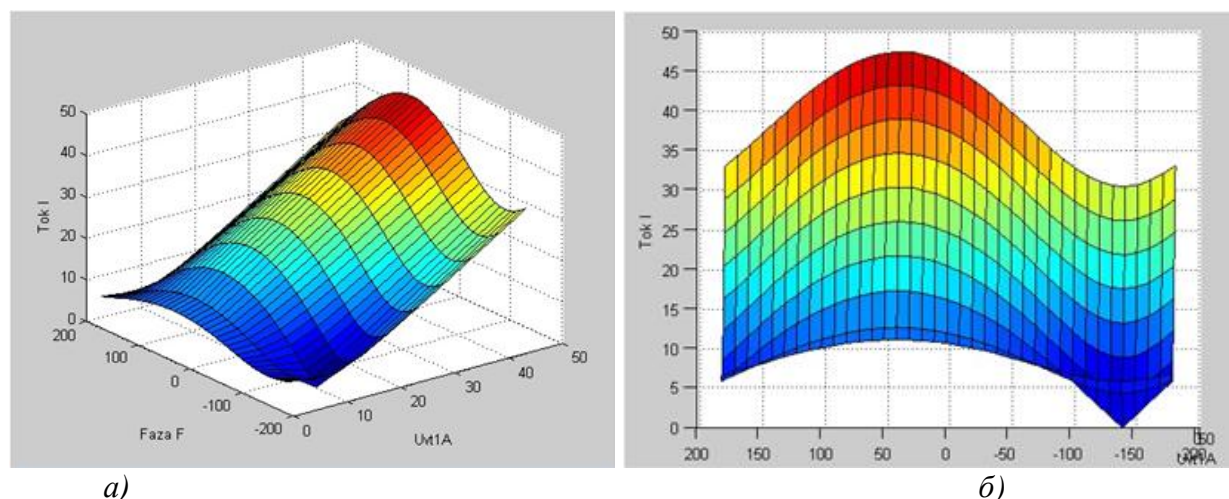


а)

б)

**Рис. 5. Зависимость величины амплитуды тока основной сети от параметров амплитуды напряжения серийного трансформатора УРПМ:**

а – трёхмерное отображение; б – проекция зависимости от фазового угла (эл. градус)



а)

б)

**Рис. 6. Зависимость величины амплитуды тока резервной сети (УРПМ) от параметров амплитуды напряжения серийного трансформатора УРПМ:**

а – трёхмерное отображение; б – проекция зависимости от фазового угла (эл. градус)

Результаты получены при кратковременных режимах работы до двукратных перегрузок по току при амплитуде номинального тока равной 22,4 А.

На изометрических представлениях в явном виде различаются «воронки» с малыми значениями токов, соответствующие выходу из режима питания нагрузки основной или резервной сети.

В данном примере УРПМ посредством сериесного трансформатора включен как дополнительная регулируемая ЕДС во второй линии электропитания. Данное решение позволяет применять подобные установки не только в сетях низкого напряжения, но и высокого. Область применения по напряжению определяется коэффициентом трансформации сериесного трансформатора.

Также полупроводниковый преобразователь УРПМ, выполненный как двойной преобразователь напряжения с промежуточным звеном постоянного тока, может быть включен непосредственно в разрыв линии электропитания низкого напряжения (0,4 кВ) без трансформатора. В этом случае он выполняет функции регулирования величины и фазового угла преобразуемого напряжения. Входные и выходные каскады переменного тока в таком варианте работают в режимах активного выпрямителя или инвертора в зависимости от направления передаваемой мощности. Подобное решение позволяет как генерировать, так и потреблять токи с заданными параметрами величины и фазового угла.

Рассмотрим аспект формирования напряжений на входе активного выпрямителя при заданных углах потребляемого тока  $\varphi_L$  (рис. 7).

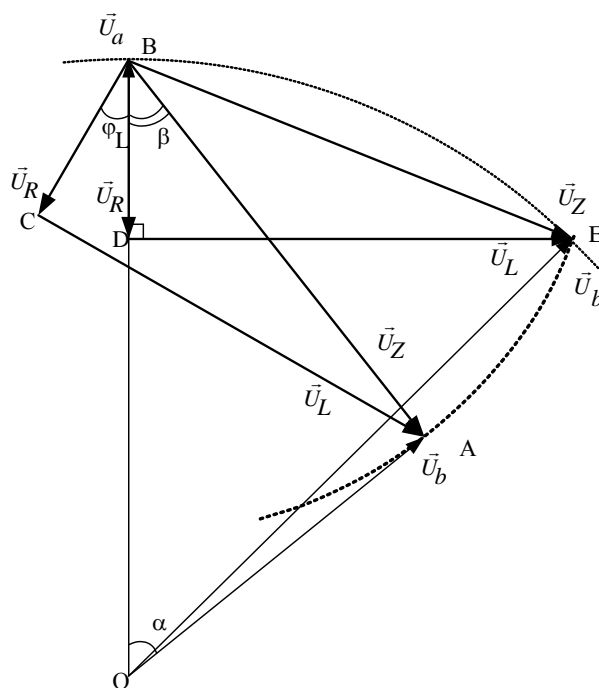


Рис. 7. Векторная диаграмма выходных напряжений УРПМ

*Введем обозначения:* действующее напряжение сети  $U_a$ ; действующее напряжение на входе преобразователя  $U_b$  для текущего значения потребляемого тока; падение напряжения на активном сопротивлении сетевого дросселя  $U_R$ ; падение напряжения на индуктивном сопротивлении сетевого дросселя  $U_L$ ; действующее значение суммарного падения напряжения на сетевом дросселе  $U_Z$ ; ток реактора (потребления от резервной сети)  $i_S$ ; заданный фазовый угол  $\varphi_L$  потребляемого тока; фазовый угол  $\alpha$  между векторами напряжений  $U_a$  и  $U_b$ .

На рис. 7 приведены диаграммы напряжений режима работы преобразователя при потреблении из сети тока с заданной величиной и фазовым углом.

Рассмотрим треугольник  $BDE$  на рис. 7. Параметры векторов, составляющие стороны треугольника, определяют составляющие напряжений сетевого дросселя при максимальной величине потребляемого тока и заданной добротности дросселя. При повороте треугольника  $BDE$  на угол  $\varphi_L$  вершиной  $E$  описывается геометрическое место точек конца векторов дей-

ствующего напряжения на входе преобразователя  $U_b$ . Поскольку активные и индуктивные сопротивления сетевого дросселя при этом не меняются, то треугольник  $BDE$  равен треугольнику  $ABC$ , а геометрическим местом точек векторов  $U_b$  является дуга окружности. Треугольник  $BFK$  определяет параметры напряжений сетевого дросселя для заданного значения тока, потребляемого преобразователем УРПМ.

Для треугольника  $ABC$  на рис. 7 справедливо следующее выражение:

$$\angle ABC = \beta + \varphi_L. \quad (1)$$

Для треугольника  $ABC(BED)$  по теореме косинусов запишем:

$$\cos(\angle ABC) = \frac{U_a^2 + U_Z^2 - U_b^2}{2 \cdot U_a \cdot U_Z} = \frac{U_Z^2}{2 \cdot U_a \cdot U_Z} = \frac{U_Z}{2 \cdot U_a}; \quad (2)$$

$$\angle ABC = \arccos \frac{U_Z}{2 \cdot U_a} = \arccos \frac{I_S \cdot \sqrt{R^2 \cdot (1+Q^2)}}{2 \cdot U_a}, \quad (3)$$

где  $R$  и  $Q$  активное сопротивление и добротность реактора соответственно.

Подставим в выражение (3) параметр  $I_S$ :

$$I_S = \frac{\sqrt{2} \cdot k \cdot k_\phi^2 \cdot U_C}{3 \cdot R_H}, \quad (4)$$

где  $k_\phi$  – коэффициент формы кривой переменного напряжения (тока);  $k$  – коэффициент кратности напряжения на конденсаторе промежуточного звена постоянного тока УРПМ по отношению к амплитуде напряжения питающей сети. Для синусоидального напряжения (тока)  $k_\phi = 1,11$ . Коэффициент кратности напряжения на конденсаторах принимает значения  $1,13 \leq k \leq 1,45$  исходя из диапазона напряжения на емкостном накопителе 350÷450 В [2].

Тогда выражение (3) принимает вид:

$$\angle ABC = \arccos \frac{\sqrt{2} \cdot k \cdot k_\phi^2 \cdot U_C \cdot \sqrt{R^2 \cdot (1+Q^2)}}{2 \cdot 3 \cdot U_a \cdot R_H} = \arccos \frac{k^2 \cdot k_\phi^2 \cdot \sqrt{R^2 \cdot (1+Q^2)}}{3 \cdot R_H}. \quad (5)$$

Введем понятие постоянной преобразователя:

$$C_{\text{ПР}} = \frac{k^2 \cdot k_\phi^2 \cdot \sqrt{R^2 \cdot (1+Q^2)}}{3 \cdot R_H}. \quad (6)$$

Запишем выражение (1) для угла  $\beta$  и подставим  $\angle ABC$  из (2). Тогда оно принимает вид:

$$\beta = \arccos(C_{\text{ПР}}) - \varphi_L. \quad (7)$$

Для треугольника  $OAB$  по теореме синусов справедливо следующее равенство:

$$\frac{U_b}{\sin \beta} = \frac{U_Z}{\sin \alpha} = \frac{U_a}{\sin(\pi - (\alpha + \beta))}, \quad (8)$$

$$\text{где } U_Z = I_S \cdot \sqrt{R^2 \cdot (1+Q^2)} = \frac{\sqrt{2} \cdot k \cdot k_\phi^2 \cdot U_C}{3 \cdot R_H} \cdot \sqrt{R^2 \cdot (1+Q^2)} =$$

$$= \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot k \cdot k_\phi^2 \cdot U_C \cdot U_{a \max}}{2 \cdot 3 \cdot R_H \cdot U_{a \max}} \cdot \sqrt{R^2 \cdot (1+Q^2)} = \frac{4 \cdot k^2 \cdot k_\phi^2 \cdot U_a}{3 \cdot R_H} \cdot \sqrt{R^2 \cdot (1+Q^2)} =$$

$$= 4 \cdot C_{\text{ПР}} \cdot U_a. \quad (9)$$

Из равенства (8) выразим угол  $\alpha$ :

$$\frac{U_Z}{\sin \alpha} = \frac{U_a}{\sin(\pi - (\alpha + \beta))}. \quad (10)$$

Подставим выражение (9) и используя тригонометрические формулы:

$$\frac{4 \cdot C_{\text{ПР}} \cdot U_S}{\sin \alpha} = \frac{U_a}{\sin(\alpha + \beta)}; \quad (11)$$

$$\frac{4 \cdot C_{\text{ПР}}}{\sin \alpha} = \frac{1}{\sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta}; \quad (12)$$

$$\frac{4 \cdot C_{\text{ПР}}}{\sin \alpha} = \frac{1}{\sin \alpha \cdot (\cos \beta + \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot \sin \beta)}; \quad (13)$$

$$\text{ctg} \alpha = \frac{1 - 4 \cdot C_{\text{ПР}} \cdot \cos \beta}{4 \cdot C_{\text{ПР}} \cdot \sin \beta}. \quad (14)$$

Отсюда  $\alpha$ :

$$\alpha = \text{arccctg} \left( \frac{1 - 4 \cdot C_{\text{ПР}} \cdot \cos(\arccos(C_{\text{ПР}}) - \varphi_L)}{4 \cdot C_{\text{ПР}} \cdot \sin(\arccos(C_{\text{ПР}}) - \varphi_L)} \right). \quad (15)$$

Из равенства (8) выразим действующее напряжение в точке подключения преобразователя:

$$U_b = U_Z \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = 4 \cdot C_{\text{ПР}} \cdot U_a \cdot \frac{\sin(\arccos(C_{\text{ПР}}) - \varphi_L)}{\sin \alpha}. \quad (16)$$

Результатом является выражение для определения параметров напряжения в точке  $b$  при заданном фазовом угле потребляемого тока УРПМ.

Параметрами задания могут являться также величина и фазовый угол напряжения  $U_Z$  на сетевом дросселе ( $Z_2$ , рис. 2) при его известной добротности.

Таким образом, может быть получена дополнительная функция компенсации реактивной мощности линий электропитания.

#### Библиографический список

1. Куро, Ж. Современные технологии повышения качества электроэнергии при ее передаче и распределении // Новости электротехники. – 2005. – №1. – С. 22–26.
2. Чивенков, А.И. Определение соотношений параметров универсальной системы регулирования переменного тока / А. Гедифа, А.И. Чивенков, А.Б. Лоскутов [и др.] // Промышленная энергетика. – 2016. – №7. – С. 19–24.

Дата поступления  
в редакцию 12.01.2017

A.I. Chivenkov<sup>1</sup>, N.N. Vikhorev<sup>1</sup>, I.M. Trofimov<sup>1</sup>, A. Gedifa<sup>2</sup>

#### PHYSICAL MODEL OF SMART GRID

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev<sup>1</sup>,  
Entreprise Bâtiment et travaux publics, Algérie Zone industrielle à M'Sila<sup>2</sup>

**Purpose:** The study of the physical model of distributed power low voltage "smart grid" in the regulation of power flow.

**Methodology/approach:** This article presents the results of experiments on the automation power flow regulation in the physical model of the a smart grid by changing the phase angle and amplitude of the voltage in the backup power line.

**Originality/value:** Redistribution of the flow amount of power in the distribution network with points of connection of additional power sources will allow to align the value of the power flow, reduce the loss of congested power lines, increase the capacity of the lines by reducing the reactive component of the power transmitted by the electric power, to compensate for the shortage of electricity consumers.

*Key words:* physical model, a distributed grid, Smart grid, regulation, flows of power.

УДК 621.3.01

А.И. Гардин, А.Е. Логачев

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТЕНД ПО ИЗУЧЕНИЮ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ  
КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева

Разработан стенд, позволяющий исследовать автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) различных производителей. Рассмотрены причины возникновения АСКУЭ и их структура. Приведено описание блоков лабораторного стенда, используемых коммуникационных интерфейсов и программного обеспечения. Показаны схемы проводимых на лабораторном стенде опытов.

*Ключевые слова:* автоматизированная система контроля и учета электроэнергии, лабораторный стенд, автоматизированный учет.

С распадом плановой экономики в 1991 году закончилась эпоха практически неограниченных и дешевых энергоресурсов, когда их доля в себестоимости продукции составляла всего лишь несколько процентов. В 1992 году, одновременно с созданием Российского открытого акционерного общества (РАО) «ЕЭС России», была организована оптовая торговля электрической энергией на Федеральном оптовом рынке электроэнергии и мощности (ФОРЭМ). Правовой основой функционирования ФОРЭМ являлись Федеральный закон № 41 от 14 апреля 1995 года «О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации» и Постановление Правительства РФ от 12 июля 1996 года № 793 «О федеральном (общероссийском) оптовом рынке электрической энергии (мощности)». В настоящее время правила оптового рынка утверждены в Федеральном законе №35 «Об электроэнергетике» от 26 марта 2003 года.

Электроэнергия является довольно специфичным ресурсом по следующим причинам:

1. Производство, передача и потребление электроэнергии, в силу ее физической природы, происходят практически одновременно и ее невозможно складировать (накапливать) в значительных объемах;
2. Электроэнергия поставляется множеством производителей в общие электрические сети и мгновенно потребляется оттуда же множеством потребителей, поэтому с физической точки зрения невозможно определить, кто произвел электроэнергию, потребляемую тем или иным потребителем, можно лишь контролировать объемы поставки в общую сеть от каждого производителя и объемы потребления из нее каждым потребителем;
3. Электроэнергия, получаемая потребителем из энергосистемы, является товаром первой необходимости, только в редких случаях имеющим другие товары-заменители (например, переход на электроснабжение от автономной дизельной электростанции);
4. Производители вырабатывают и поставляют в общую сеть электрическую мощность точно в соответствии со своими обязательствами, а все потребители суммарно потребляют электрическую мощность также в соответствии со своими обязательствами. Но на практике в силу разных обстоятельств, как производители, так и потребители допускают отклонения от своих обязательств.

Это вызывает дисбаланс между поставкой и потреблением. На любом другом рынке такой кратковременный дисбаланс не приводит к потере его устойчивости.

Подобная специфика электроэнергии как товара обуславливает развитие рынка, отличающегося от остальных. Участники этого рынка должны быстро принимать решения на основе точной и оперативно полученной информации о товаре, если хотят оставаться кон-

курентоспособными на нем. Так же на сегодняшний день из-за многократного удорожания энергоресурсов возросла их доля в себестоимости продукции. Для многих промышленных предприятий она составляет 20–30%, а для наиболее энергоемких производств достигает 40% и более. Таким образом, под давлением рынка потребители приходят к пониманию, что первым шагом в экономии энергоресурсов и снижении финансовых потерь является точный учет.

Федеральный закон РФ № 261 «Об энергосбережении» от 23.11.2009. обусловил кардинальное изменение отношения к организации энергоучета в промышленности и других энергоемких отраслях (транспорт и жилищно-коммунальное хозяйство). Современная цивилизованная торговля энергоресурсами основана на использовании автоматизированного приборного энергоучета, сводящего к минимуму участие человека на этапе измерения, сбора и обработки данных и обеспечивающего достоверный, точный, оперативный и гибкий, адаптируемый к различным тарифным системам учет со стороны поставщика энергоресурсов и потребителя. С этой целью, как поставщики, так и потребители, создают на своих объектах автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии – АСКУЭ. При наличии современной АСКУЭ промышленное предприятие полностью контролирует весь свой процесс энергопотребления и имеет возможность по согласованию с поставщиками энергоресурсов гибко переходить к разным тарифным системам, минимизируя свои энергозатраты.

АСКУЭ – это многоуровневая автоматизированная система учета электроэнергии, обеспечивающая автоматизированный сбор и передачу результатов измерений по физическим или беспроводным каналам связи на верхний уровень, с последующим ее хранением и использованием. В общем случае АСКУЭ состоит из трех уровней.

*Первый уровень* – включает в себя счетчик электроэнергии, измерительные трансформаторы тока и напряжения, вторичные измерительные цепи. Данный уровень выполняет измерения параметров электропотребления в точке учета, регистрацию событий, их хранение в памяти электронного счетчика и выдачи информации в цифровом виде посредством каналов связи на второй уровень. Комплекс оборудования входящий в первый уровень называют измерительно-информационным комплексом точки учета (ИИК ТУ).

*Второй уровень* – включает в себя устройства сбора и передачи данных (УСПД) и каналобразующую аппаратуру. Данный уровень обеспечивает сбор и передачу информации на третий уровень от нескольких ИИК, сквозной доступ от верхнего уровня непосредственно к ИИК ТУ. Комплекс оборудования, входящий в данный уровень, называют информационно-вычислительным комплексом электроустановки (ИВКЭ), например, ИВКЭ ГПП, РП, КТП или цеха промышленного предприятия. В некоторых версиях АСКУЭ второй уровень может быть совмещен с первым или третьим.

*Третий уровень* – включает в себя технические средства приема-передачи данных (каналобразующая аппаратура), сервер опроса и сервер баз данных, технические средства для организации локальной вычислительной сети и средства информационной безопасности. Этот уровень обеспечивает автоматический сбор и хранение результатов измерений, диагностику состояния, подготовку отчетов, а также импорт-экспорт данных. Оборудование, входящее в состав уровня, представляет собой информационно-вычислительный комплекс (ИВК) сетей, установленный в выделенном помещении.

Система обеспечения единого времени (СОЕВ) формируется на верхнем уровне и выполняет функцию измерения времени, имеет нормированные метрологические характеристики и обеспечивает синхронизацию времени при проведении измерений количества электроэнергии с точностью не более  $\pm 5,0$  с/сутки. В СОЕВ входят все средства измерений времени, которые используются при синхронизации времени (электрические счетчики, УСПД, приемники сигнала точного времени), а также учитываются временные характеристики (задержки) линий связи между ними. СОЕВ «привязана» к единому календарному времени, соответствующему тому часовому поясу, в котором находится АСКУЭ.

Для организации учебного процесса по курсу «Автоматизация и управление систем электроснабжения» необходим стенд, который обеспечит испытание отдельных технических средств, входящих в АСКУЭ, продемонстрирует различные способы сбора и передачи информации между ее уровнями, познакомит с ее аппаратным и программным обеспечением. Должны быть обеспечены следующие возможности:

- дополнение стенда новыми системами;
- физические модели потребителей должны изменять величину нагрузки;
- счетчики, входящие в состав стенда, должны быть многофункциональными, для возможности получения как можно более полной информации о сети потребителя, т.е. токе, напряжении, активной и реактивной мощности, величине потребляемой электроэнергии и др;
- оборудование стенда должно обеспечивать передачу данных между уровнями АСКУЭ с помощью разных типов коммуникаций.

В настоящее время на кафедре «Электроэнергетики, электроснабжения и силовой электроники» (ЭССЭ) существует лабораторный стенд по изучению «Автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии», выполненный на базе оборудования ООО «НПК «Инкотекс». Лабораторный стенд представляет собой набор различных по своим функциям блоков вставленных в раму специального лабораторного стола. Часть блоков представляет собой физические модели элементов электрической сети низкого напряжения, другая служит для измерения потребляемой электроэнергии, а также ее параметров (тока, напряжения, мощности). Часть блоков необходима для обработки, структурирования и передачи полученной информации. Антенна и SIM-карты являются готовыми покупными изделиями. Для передачи информации используются CAN-интерфейс, PLC и GSM. Общее число блоков составляет четырнадцать штук.

На рис. 1 изображена структурная схема стенда. Рассмотрим основные модули, приведенные на структурной схеме стенда (рис. 1).

Блок *A1* представляет собой физическую модель трехфазной трансформаторной группы. Он предназначен для моделирования сетей низкого напряжения с глухозаземленной нейтралью, а также является вторым источником питания при моделировании замкнутых электрических сетей.

Блоки *A2* и *A3* представляют собой физические модели активной и индуктивной нагрузки. Они играют роль потребителей электроэнергии, данные о которой собирают счетчики.

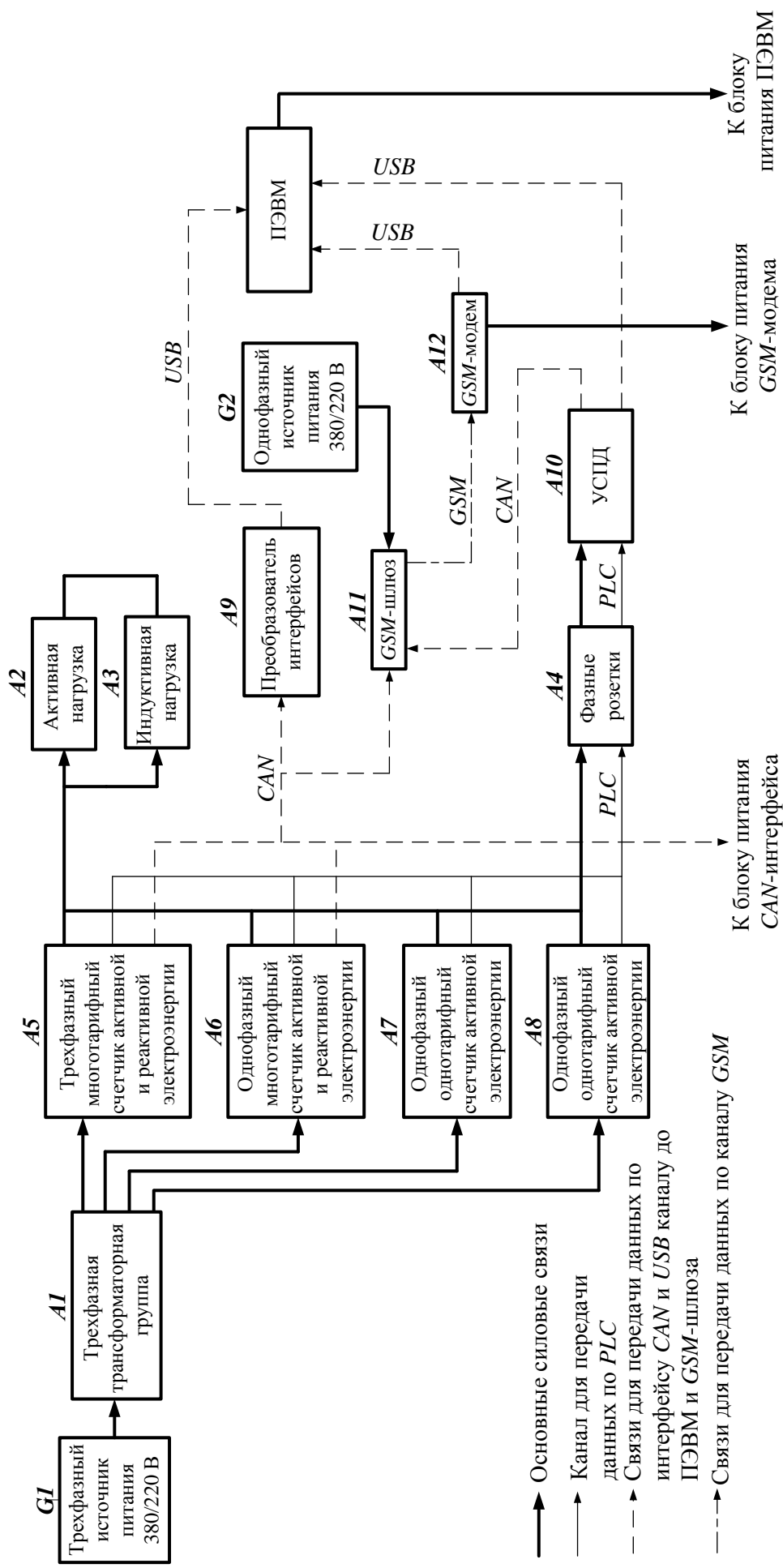
Блок *A4* представляет собой три розетки, каждая из которых соответствует одной рабочей фазе. Они обеспечивают распределение информации, полученной от счетчиков по силовой цели (по фазам *A*, *B* или *C*), которая затем будет передана на соответствующие этим же фазам УСПД.

Блок *A5* представляет собой трехфазный многотарифный счетчик активной и реактивной энергии марки «Меркурий 230» с PLC-модемом и CAN-интерфейсом. Он осуществляет пофазное измерение потребления активной и реактивной энергии по четырем тарифам, а также параметров сети, таких как напряжение, ток, активная и реактивная мощность и др.

Блок *A6* представляет собой однофазный многотарифный счетчик активной и реактивной энергии марки «Меркурий 200» с PLC-модемом и CAN-интерфейсом. Он осуществляет измерение потребления активной и реактивной энергии одной фазы по четырем тарифам, а также параметров сети, таких как напряжение, ток, активная и реактивная мощность и др.

Блоки *A7* и *A8* представляют собой однофазные однотарифные счетчики активной электрической энергии марки «Меркурий 201» с PLC-модемом. Они осуществляют измерение потребления активной электрической энергии одной фазы.





**Рис. 1. Структурная схема блоков стэнда «Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии»:**

A1 – трехфазная трансформаторная группа; A2 – активная нагрузка; A3 – индуктивная нагрузка; A4 – фазные розетки; A5 – трехфазный многотарифный счетчик активной и реактивной электрической энергии с PLC-модемом и CAN-интерфейсом; A6 – однофазный многотарифный счетчик активной и реактивной электрической энергии с PLC-модемом и CAN-интерфейсом; A7 и A8 – однофазный однотарифный счетчик активной электрической энергии с PLC-модемом; A9 – преобразователь интерфейса USB в CAN/RS485/RS232; A10 – устройство сбора и передачи данных по низковольтным электрическим сетям; A11 – GSM-шлюз; A12 – GSM-модем; G1 – трехфазный источник питания; G2 – однофазный источник питания

Блок *A9* представляет собой преобразователь интерфейса *USB* в *CAN/RS485/RS232* марки «Меркурий 221». Он предназначен для подключения к персональному компьютеру (ПК) электросчетчиков «Меркурий» со встроенными интерфейсами *CAN/RS485* для дистанционного сбора данных с этих счетчиков.

Блок *A10* представляет собой устройство сбора и передачи данных по низковольтным электрическим сетям. В данной работе УСПД являются три пофазных *PLC*-концентратора марки «Меркурий 225.1». Они используются для дистанционного сбора данных от счетчиков по силовой цепи и передачи их непосредственно на ПК по проводному или беспроводному каналу связи через *GSM*-шлюз.

Блок *A11* представляет собой *GSM*-шлюз марки «Меркурий 228». Он предназначен для обеспечения удаленного доступа к информации о потреблении электроэнергии, которую он получает от УСПД и передает *GSM*-модему по каналу *GSM*-связи.

Блок *A12* представляет собой *GSM*-модем. Он находится непосредственно у ПК диспетчерского пункта и предназначен для передачи данных, полученных от *GSM*-шлюза, по *USB*-кабелю на ПК.

Блок *G1* является трехфазным источником питания стенда. Его назначение состоит в том, чтобы обеспечивать питанием трехфазным переменным током промышленной частоты функциональных блоков лабораторного стенда.

Блок *G2* является однофазным источником питания стенда. Его назначение состоит в том, чтобы обеспечивать питанием однофазным переменным током промышленной частоты функциональных блоков лабораторного стенда.

На лабораторный стенд для проведения экспериментальных исследований АСКУЭ разработана эскизная конструкторская документация, состоящая из функциональных, принципиальных схем, схем соединений (подключений) и спецификаций по каждому блоку. На рис. 2 изображена схема соединений блоков моделей элементов электрической сети, на рис. 3 – принципиальная электрическая схема лабораторного стенда.

В качестве программного обеспечения (ПО) для опроса счетчиков используются две программы «Конфигуратор счетчиков Меркурий» и «BQuark».

«Конфигуратор счетчиков Меркурий» предназначен для опроса счетчиков по интерфейсу *RS-485*, *CAN* и по *GSM*. Эта программа позволяет связываться, получать или передавать информацию непосредственно от каждого счетчика «Меркурий», т.е. вручную вводится адрес счетчика, с которым необходимо связаться, устанавливается соединение и, после считывания необходимых данных, канал разрывается оператором. Такую процедуру нужно проделывать с каждым счетчиком, входящим в систему АСКУЭ.

Программа «*BQuark*» предназначена для использования в качестве рабочего места оператора учёта в составе АСКУЭ «Меркурий-*PLC-I/II*». Сбор данных происходит в соответствии с файлом задания, который оператора учёта записывает для этой программы. Файл задания представляет собой текстовый файл с расширением *\*.dat*, содержащий: описание структуры аппаратных компонентов опрашиваемой АСКУЭ; настройки пользовательского интерфейса; тип данных, которые необходимо получить от концентраторов; протокол последнего сеанса работы программы.

Данный лабораторный стенд по изучению АСКУЭ допускает интеграцию нового оборудования, принадлежащего другим компаниям. Так же следует обратить внимание на то, что счетчики типа «Меркурий», используемые в стенде имеют универсальный интерфейс *RS-485*, который использует большая часть производителей АСКУЭ.

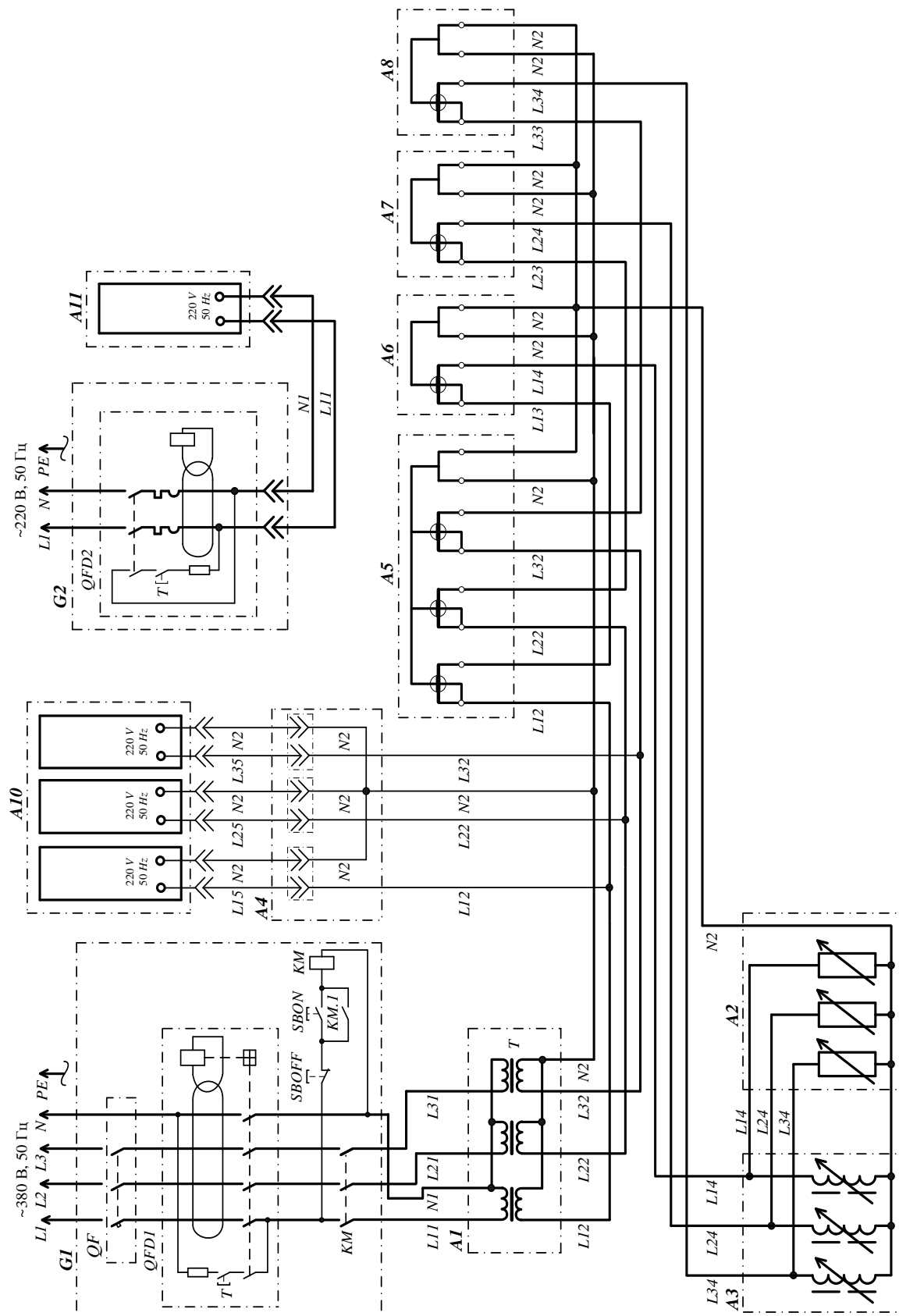


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема блоков лабораторного стенда «Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии»

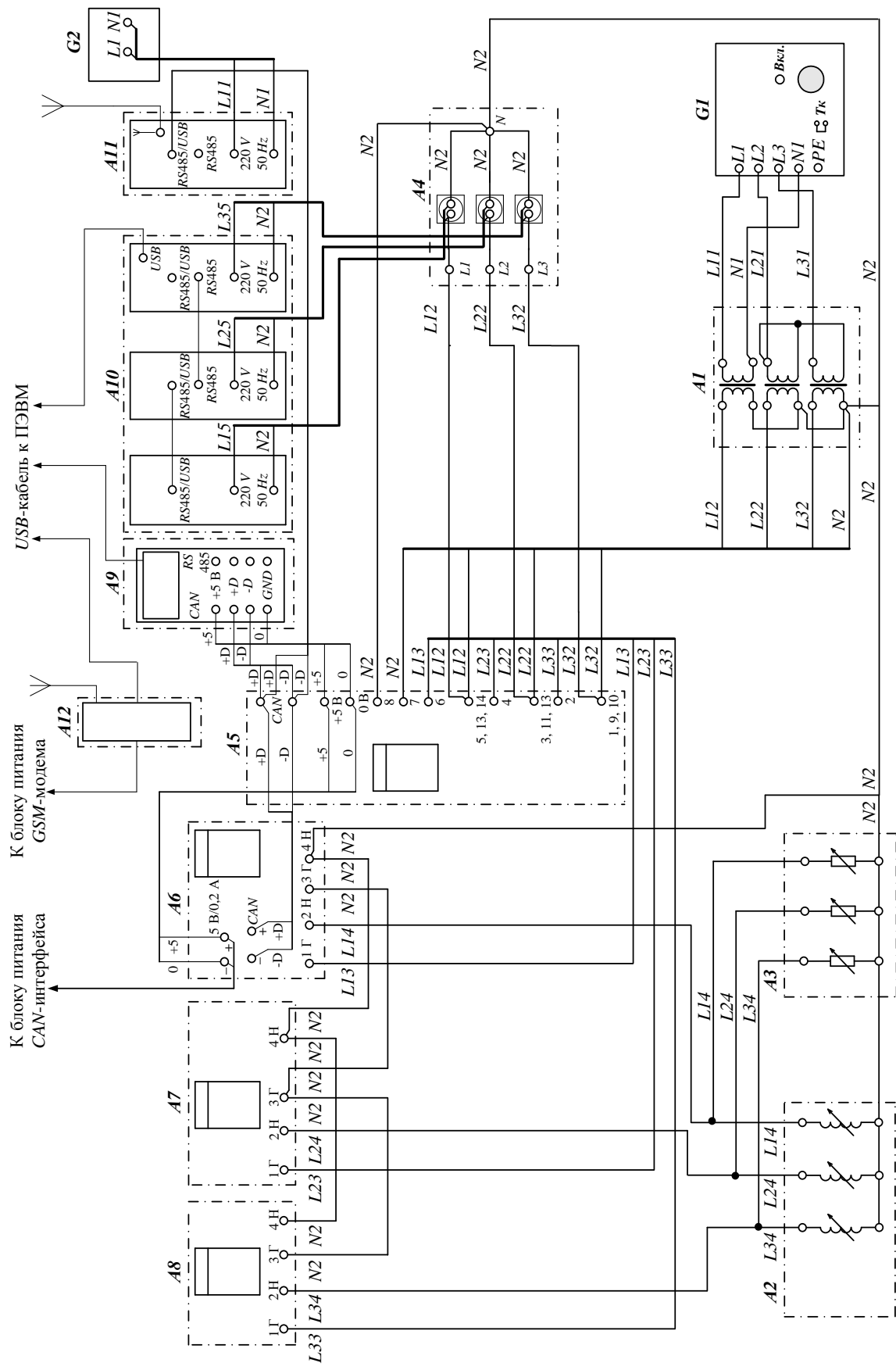


Рис. 3. Схема соединений блоков моделей электрической сети «Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии»

### Выводы

1. Лабораторный стенд «АСКУЭ» является универсальным, так как может дополняться техническими и программными средствами других производителей;
2. Для связи со счетчиками электроэнергии других производителей используется интерфейс RS-485 (он наиболее распространен и в составе стенда есть специальный преобразователь данного интерфейса в USB);
3. Лабораторный стенд «АСКУЭ» и внедрение его в учебный процесс обеспечивает возможность получения магистрантами сведений об одной из систем автоматизации и управления электроснабжением, принципах ее построения, аппаратной и программной базе.

### Библиографический список

1. Правила учета электрической энергии: утв. Минтопэнерго РФ и Минстроем РФ 19, 26 сентября 1996 г. // информационно-правовое обеспечение «Гарант» - URL: <http://base.garant.ru/136707/>
2. Об электроэнергетике: Федеральный закон от 26 марта 2003 г. №35-ФЗ // Консорциум кодексов: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901856089>
3. Об энергосбережении: Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ // Консорциум кодексов: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902186281>
4. Вагин, Г.Я. Учет энергоресурсов: комплекс учебно-метод. материалов / Г.Я. Вагин, А.М. Мамонов. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2014. – 107 с.
5. Еремина, М.А Развитие автоматизированных систем коммерческого учета энергоресурсов (АСКУЭ) // Молодой ученый. – 2015. – №3. – С. 135–138.

*Дата поступления  
в редакцию 19.01.2017*

**A. I. Gardin, A. E. Logachev**

### UNIWERSALNY STAND FOR THE STUDY AUTOMATED SYSTEMS OF CONTROL AND ACCOUNTING OF ELECTRICITY

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

Designed stand that allows you to explore the automated control systems and electricity metering (AMR) of different manufacturers. The article considers causes of AMR and their structure. The description of the units of the laboratory stand used communication interfaces and software. A similar practice carried out on a laboratory bench experiments.

*Key words:* automated system of control and accounting of electricity, a laboratory, computerized accounting.

УДК 621.3.016.31

Д.Г. Садиков<sup>1</sup>, В.Г. Титов<sup>2</sup>, Д.В. Умяров<sup>3</sup>**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ  
КАСКАДНЫМ МНОГОУРОВНЕВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ**АО «Гипрогазцентр»<sup>1</sup>,  
Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева<sup>2</sup>,  
ОАО «КБ Вымпел»<sup>3</sup>

Представлено описание разработанного пространственно-векторного алгоритма управления каскадным многоуровневым преобразователем частоты. Описан процесс оптимизации алгоритма по критерию минимального потребления электроэнергии из питающей сети. Приведены результаты моделирования системы электропривода на основе каскадного многоуровневого преобразователя частоты с использованием разработанного алгоритма. Сравнение результатов применения предложенного алгоритма с известными алгоритмами показало высокую эффективность предлагаемых решений в части повышения КПД и обеспечения высоких энергетических характеристик системы электропривода.

*Ключевые слова:* широтно-импульсная модуляция, каскадный многоуровневый преобразователь частоты, система управления, оптимизация, энергоэффективность.

Современные частотно-регулируемые преобразователи обеспечивают формирование и регулирование основной гармоника выходного напряжения методами импульсной модуляции.

Трехфазные автономные инверторы напряжения с управлением ключами по принципу широтно-импульсной модуляции на высокой несущей частоте являются основным типом преобразователей частоты для регулируемого электропривода переменного тока во всем диапазоне мощностей.

Фактически все выпускаемые на сегодняшний день частотно-регулируемые электроприводы переменного тока с автономным инвертором напряжения имеют реализацию ШИМ по одному из двух наиболее распространенных методов:

- метод синусоидальной ШИМ (SPWM);
- метод пространственной модуляции базовых векторов, векторная ШИМ (SVPWM).

Широтно-импульсная модуляция по синусоидальному закону получила наибольшее распространение на практике, несмотря на такие недостатки, как низкое использование напряжения источника питания (что не позволяет добиться максимально возможного КПД системы). Низкое использование напряжения источника питания в режиме синусоидальной центрированной ШИМ в области электропривода приводит к недоиспользованию асинхронного двигателя по напряжению приблизительно на 15% [3]. Поэтому одной из задач проектирования и разработки частотно-регулируемых преобразователей является увеличение полезной составляющей выходного напряжения на нагрузке.

Основным недостатком синусоидальной ШИМ, формируемой методом сравнения, является невысокий коэффициент использования напряжения питания. Он определяется соотношением [3]

$$U_{\text{лм}} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_d, \quad (1)$$

где  $U_{\text{лм}}$  – максимальное значение амплитуды линейного выходного напряжения инвертора.

При единичном напряжении звена постоянного тока максимальная амплитуда линейных напряжений составляет (0,866), то есть при преобразовании происходит недоиспользо-

вание напряжения звена постоянного тока примерно на 14%. Это вредное явление приводит к потере момента двигателя, обычно рассчитанного на полное напряжение сети, и неоптимальному использованию высоковольтных элементов силовой схемы (IGBT-ключей, высоковольтных конденсаторов) [54].

Существуют два подхода к решению данной проблемы: модифицирование алгоритмов синусоидальной центрированной ШИМ путем введения третьей гармоники синусоидального сигнала, пилообразного сигнала и т.д. и переход к широтно-импульсной модуляции базовых векторов или векторной ШИМ. Модификации синусоидальной центрированной ШИМ имеют существенный недостаток – ухудшение гармонического состава выходного напряжения частотно-регулируемого преобразователя. Более перспективным средством достижения поставленной цели является векторная ШИМ, позволяющая увеличить выходное напряжение преобразователя частоты при снижении коммутационных потерь в силовых ключах инвертора.

Одним из эффективных и относительно несложных в реализации способов предмодуляции синусоидальной ШИМ является предмодуляция введением третьей гармоники в сигналы задания с амплитудой [3]

$$U_{nm} = \frac{1}{6} U'_{zm} . \quad (2)$$

Предмодуляция позволяет повысить коэффициент использования напряжения в режиме максимального неискаженного выхода теоретически до 1 ( $U_{\text{лм}} = U_d$ ) и снизить величину пульсаций электромагнитного момента и тока статора на 10–12 % [3].

Общими недостатками формирования ШИМ путем сравнения сигналов управления с опорным являются [3]:

- ориентация на реализацию средствами аналоговой элементной базы;
- повышенная сложность реализации при необходимости получить высокий коэффициент использования источника питания;
- недостаточная гибкость для синтеза оптимальных законов коммутации ключей инвертора в различных режимах работы привода.

Указанных недостатков лишен векторный метод формирования ШИМ. Это позволяет увеличить КПД частотно-регулируемого преобразователя за счет снижения коммутационных потерь в силовых ключах инвертора примерно на 1/3.

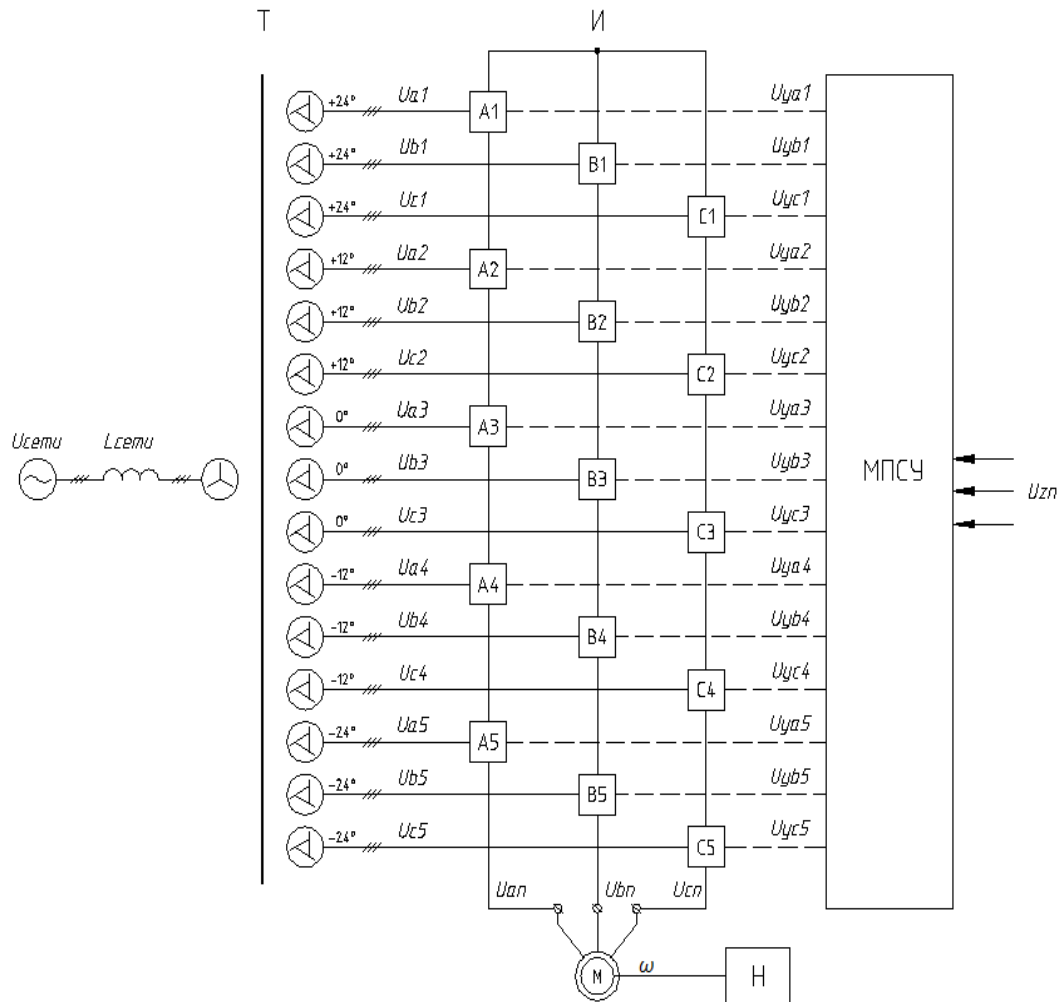
Применение векторной ШИМ позволяет реализовывать разнообразные алгоритмы управления, увеличивающие процент использования источника питания. Применение схемы каскадного многоуровневого преобразователя частоты (рис. 1) еще больше увеличивает гибкость алгоритмов управления, так как для решения поставленной задачи может быть использовано несколько вариантов фиксированных состояний ключевых элементов схемы. Более сложная архитектура и алгоритмы управления многоуровневых схем компенсируется их высокой технической и экономической эффективностью.

Суть метода векторной ШИМ состоит в отказе от одновременной коммутации ключами инвертора и в переходе к коммутации между несколькими, заранее выбранными состояниями инвертора, каждое из которых соответствует определенному пространственному положению базового вектора напряжения. Изменение состояния ключей приводит к скачкообразному переходу от одного базового вектора к другому. При этом в качестве управляющего сигнала используется вектор фазного напряжения нагрузки, задаваемый модулем  $U_m$  и углом поворота вектора относительно неподвижных координатных осей  $\theta$ .

Формирование одного и того же вектора эквивалентного напряжения может осуществляться множеством различных элементарных комбинаций выходных векторов инвертора, то есть в рамках различных алгоритмов управления. При этом алгоритмы будут отличаться друг от друга следующими показателями:

- величиной пульсаций тока в фазах нагрузки;
- потерями, обусловленными дискретностью работы инвертора;

- коэффициентом использования источника напряжения;
- числом коммутаций ключей инвертора за период модуляции;
- коэффициентом использования нагрузочной способности ключей инвертора по напряжению;
- степенью симметрии управления фазами инвертора.



**Рис. 1. Структурная схема высоковольтного электропривода на базе каскадного многоуровневого инвертора напряжения**

Критерии синтеза, полученные на основе этих показателей, в большей части являются противоречащими друг другу. Синтез алгоритма (выбор элементарной комбинации векторов напряжения) может выполняться на основе требования оптимального сочетания указанных показателей, задаваемого в каждом конкретном случае с помощью весовых коэффициентов.

### **Разработка оптимизированного алгоритма векторной ШИМ**

Реализация векторного алгоритма управления для каскадного многоуровневого инвертора (рис. 1) – сложная задача из-за большого количества доступных пространственных векторов и множества комбинаций различных состояний ключевых элементов H-мостовых ячеек. Общее количество состояний ключевых элементов  $N_s$  для рассматриваемого 11-уровневого инвертора составляет  $N_s = 26N$ , где  $N = 5$  – количество ячеек в фазе. Количество пространственных векторов составляет  $12N^2 + 6N + 1 = 331$ .

Задача разработки оптимального алгоритма управления каскадным многоуровневым



преобразователем частоты в составе ЭГПА сформулирована следующим образом: предложенный алгоритм пространственно-векторной ШИМ должен обеспечивать следующие характеристики системы:

- сохранение показателей качества электроэнергии на входе КМПЧ в пределах, регламентируемых ГОСТ 32144-2013 [28], без применения дополнительных фильтров на входе системы;
- обеспечение высоких показателей качества электроэнергии на выходе каскадного многоуровневого преобразователя частоты, необходимых для работы данного типа преобразователя с общепромышленными двигателями без ограничений по длине кабельной линии и без использования синус-фильтров;
- получение максимально возможного КПД системы в широком диапазоне регулирования выходной частоты и напряжения при условии обеспечения указанных требований.

Методика синтеза алгоритма управления каскадным многоуровневым преобразователем частоты включает в себя следующие этапы:

1. Разработка оптимизированного алгоритма пространственно-векторной ШИМ, обеспечивающего минимальное число переключений ключевых элементов за период. Таким образом, достигаются заложенные высокие энергетические характеристики системы, обеспечивается максимальный КПД во всех режимах работы, сводятся к минимуму потери на коммутацию в силовых элементах.

2. Производится проверка гармонического состава тока и напряжения на входе каскадного многоуровневого преобразователя частоты, работающего по созданному алгоритму на соответствие требованиям ГОСТ 32144-2013.

3. Производится проверка гармонического состава тока и напряжения на выходе каскадного многоуровневого преобразователя частоты. При необходимости улучшить показатели качества электроэнергии выходное напряжение раскладывается в ряд Фурье, и далее алгоритм корректируется таким образом, чтобы подавить соответствующие гармоники выходного напряжения, приравняв к нулю члены полученного ряда с номерами ликвидируемых гармоник.

4. Откорректированный алгоритм проверяется на обеспечение высоких энергетических характеристик во всем диапазоне регулирования выходной частоты.

На основании предложенной методики разработан оптимизированный алгоритм реализации пространственно-векторной ШИМ для управления каскадным многоуровневым преобразователем частоты.

Векторная диаграмма 11-уровневого каскадного многоуровневого преобразователя частоты, представленного на рис. 1, показана на рис. 2.

Для рассматриваемого 11-уровневого инвертора количество треугольников на векторной диаграмме рассчитывается по выражению

$$N_t = 6(m - 1)^2, \quad (3)$$

где  $m$  – количество уровней выходного напряжения.

Идея алгоритма заключается в использовании ряда неортогональных векторов в качестве базиса для определения векторов переключений и опорного вектора. Все полученные путем разложения вектора переключений в системе координат  $(g, h)$  имеют только целочисленные координаты. Этот базис выглядит следующим образом:

$$\{\bar{g}_{(v_{ab}, v_{bc}, v_{ca})}, \bar{h}_{(v_{ab}, v_{bc}, v_{ca})}\} = \left\{ \begin{bmatrix} U_{dc} \\ 0 \\ -U_{dc} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ U_{dc} \\ -U_{dc} \end{bmatrix} \right\}, \quad (4)$$

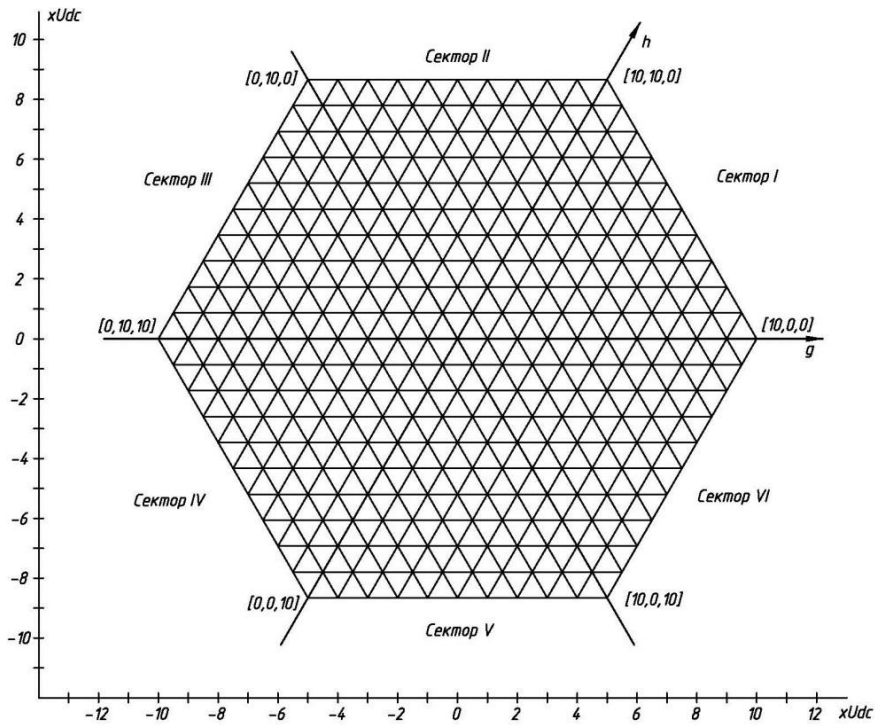


Рис. 2. Диаграмма расположения пространственных векторов 11-уровневого КМПЧ

После вычисления  $Ur g$  и  $Ur h$  округлением к меньшему по модулю целому числу находятся координаты  $g$  и  $h$ :  $g = int(Ur g)$  и  $h = int(Ur h)$ .

На первом этапе происходит разложение пространственного вектора напряжения  $\vec{U}_{ref}$  на составляющие в системе координат  $g, h$  по следующим выражениям:

$$U_{rg} = \frac{2MU_{ref}}{5U_{dc}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3} - \theta\right), \tag{5}$$

$$U_{rh} = \frac{2MU_{ref}}{5U_{dc}} \cdot \sin(\theta). \tag{6}$$

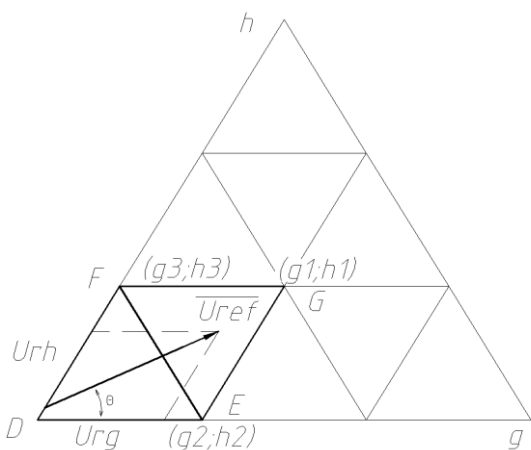


Рис. 3. Разложение пространственного вектора на составляющие по осям  $g$  и  $h$

Если  $(Ur g + Ur h) \leq (g + h + 1)$ , тогда вектор  $\vec{U}_{ref}$  попадает в левый треугольник DFE (треугольник первого типа Tr\_1), в другом случае в правый перевернутый треугольник EFG (треугольник второго типа Tr\_2) (рис. 3). Тип треугольника определяет комбинацию ближайших к вектору  $\vec{U}_{ref}$  трех опорных векторов.

После определения комбинации из трех векторов находятся соответствующие рабочие циклы для каждого из них по соотношениям

$$g_1T_1 + g_2T_2 + g_3T_3 = T_{pwm}\vec{U}_{rg}, \tag{7}$$

$$h_1T_1 + h_2T_2 + h_3T_3 = T_{pwm}\vec{U}_{rh}. \tag{8}$$

Первым шагом при выборе оптимального состояния ключевых элементов является нахождение всех возможных состояний, соответствующих вектору  $\vec{U} = [g, h]^T$ . Математически все коммутационные состояния для заданного вектора удовлетворяют выражению

$$\begin{bmatrix} k \\ k - g \\ k - g - h \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где  $k, k - g, k - g - h \in [0, n - 1]$ .

Соответственно каждому пространственному вектору напряжения соответствуют несколько возможных комбинаций коммутационных состояний ключевых элементов. Выбор необходимого состояния производится исходя из дополнительных данных, минимизируя потребление электроэнергии из питающей сети и контролируя гармонический состав токов и напряжений на входе и выходе каскадного многоуровневого преобразователя частоты.

Пространственный вектор в системе координат  $g, h$  может быть выражен в виде  $(g, h)$ , где  $g = 1, 2, \dots, 2p$  и  $h = 1, 2, \dots, 2p$ . Значение  $p$  целочисленное и определяется как  $p = (N-1)/2$ , где  $N = 11$  – число уровней выходного напряжения.

Отношение между координатами пространственного вектора  $(g, h)$  и его оптимальным с точки зрения минимума потерь коммутационным состоянием  $[S_a, S_b, S_c]$  определяется детальным изучением всех возможных коммутационных состояний. Результат выглядит следующим образом

$$S_a = -p, -p + 1, -p + 2, \dots, p, \quad S_b = S_a - g, \quad S_c = S_b - h. \quad (10)$$

Любой пространственный вектор напряжения  $(g, h)$ , показанный на рис. 2 и рис. 3, может быть классифицирован по двум категориям:

- *четный вектор*, сумма координат  $(g, h)$  которого является четным числом.

Если обе координаты  $g$  и  $h$  вектора четные или нечетные числа, то соответствующее коммутационное состояние является средним и определяется как

$$S_{am} = \frac{\{(g + h - p) + p\}}{2} = \frac{g + h}{2}, \quad S_{bm} = \frac{\{(h - p) + (p - g)\}}{2} = \frac{h - g}{2},$$

$$S_{cm} = \frac{\{(-p) + (p - g - h)\}}{2} = -\frac{g + h}{2}; \quad (11)$$

- *нечетный вектор*, сумма координат  $(g, h)$  которого является нечетным числом.

*Вариант 1:* Если  $g$  нечетное, а  $h$  четное, то имеем большое коммутационное состояние, определяемое выражениями:

$$S_{al} = \frac{g + h + 1}{2}, \quad S_{bl} = \frac{h - g + 1}{2}, \quad S_{cl} = -\frac{g + h - 1}{2}. \quad (12)$$

*Вариант 2:* Если  $g$  четное, а  $h$  нечетное, то имеем малое коммутационное состояние, определяемое выражениями:

$$S_{as} = \frac{g + h - 1}{2}, \quad S_{bs} = \frac{h - g - 1}{2}, \quad S_{cs} = -\frac{g + h + 1}{2}. \quad (13)$$

Чтобы свести к минимуму потери в инверторе и обеспечить максимально возможное значение КПД для заданного режима работы каскадного многоуровневого преобразователя частоты порядок следования коммутационных состояний выбирается из имеющихся состояний исходя из минимального числа переключений силовых ключей для перехода из текущего состояния в последующее.

Результаты моделирования режима работы системы высоковольтного электропривода при изменении частоты выходного напряжения каскадного многоуровневого преобразователя частоты и скорости вращения электродвигателя при использовании базового синусоидального алгоритма и предлагаемого способа векторной ШИМ представлены на рис. 4.

Как следует из рис. 4, при номинальной частоте вращения КПД рассматриваемой системы с применением стандартной синусоидальной ШИМ выше базового значения на 0,68 %, а при применении предложенного алгоритма векторной ШИМ КПД увеличивается на 0,05 % по сравнению с базовой системой.

С уменьшением выходной частоты частотно-регулируемого преобразователя вниз от номинального значения разница в КПД между базовой системой и рассматриваемой примерно не изменяется и составляет для диапазона изменения частоты  $(0,5-1)f_{\text{ном}}$  значение в диапазоне  $(0,55-0,74)\%$ . При использовании предлагаемого алгоритма векторной ШИМ для диапазона изменения частоты  $(0,5-1)f_{\text{ном}}$  разница в КПД системы будет увеличиваться с уменьшением выходной частоты и при частоте  $0,5f_{\text{ном}}$  составит 1,44 %.

Форма тока и напряжения на входе и выходе системы электропривода с каскадным многоуровневым преобразователем частоты, полученные по результатам моделирования, приведены на рис. 5.

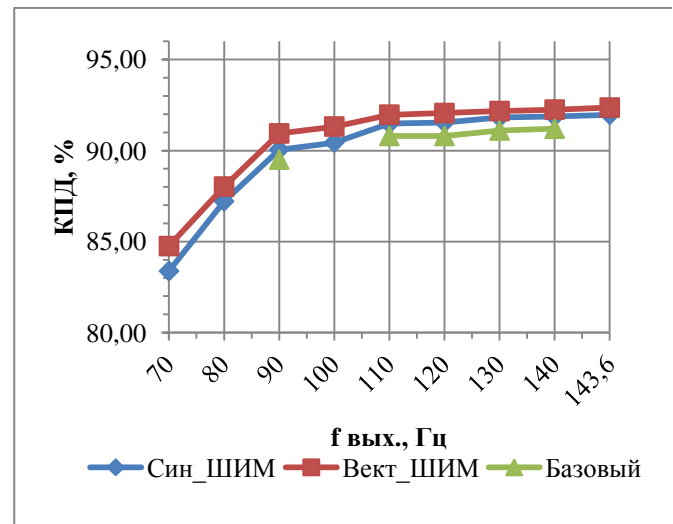


Рис. 4. Изменение КПД при разных алгоритмах управления

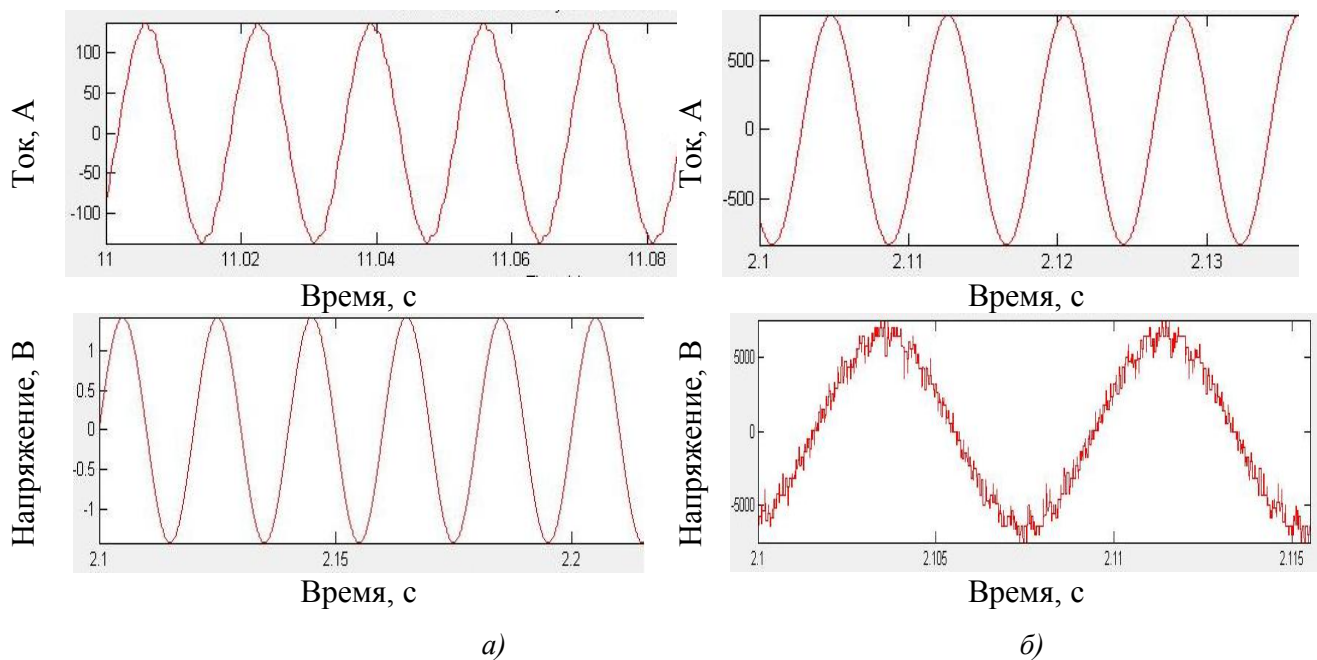


Рис. 5. Форма тока и напряжения:

а – на входе системы ЭППА; б – на выходе системы ЭППА

Как видно из рис. 5, питающее напряжение представляет почти гладкую синусоиду без видимых искажений.

### Выводы

Особенность предложенного алгоритма заключается в том, что на каждом шаге определения координат пространственного вектора выходного напряжения и соответствующих ему коммутационных состояний ключевых элементов разработанный алгоритм корректиру-

ется на основании данных о коэффициентах нелинейных искажений питающей сети. Предлагаемый алгоритм отличается от уже известных алгоритмов пространственно-векторной ШИМ по следующим основным показателям:

- алгоритм эффективный и простой в реализации. Местоположение обобщенного вектора напряжения находится очень легко благодаря использованию неортогональной целочисленной системы координат  $g, h$ ;
- для каждого обобщенного вектора напряжения легко определяются все избыточные состояния переключения ключевых элементов и автоматически находится коммутационное состояние (большое, малое или среднее);
- выбор коммутационных состояний на каждом шаге производится с учетом минимального количества переключений ключевых элементов. Предложенный алгоритм автоматически производит выбор коммутационного состояния без использования справочной таблицы, следовательно, уменьшаются требования к располагаемому объему памяти микроконтроллера, необходимой для реализации алгоритма;
- после выбора коммутационного состояния происходит анализ гармонического состава тока и напряжения на входе каскадного многоуровневого преобразователя частоты. При отклонении показателей от регламентируемых значений автоматически происходит переопределение коммутационных состояний на следующем шаге работы алгоритма;
- предложенный алгоритм универсальный и может быть использован в любом частотно-регулируемом преобразователе, построенном по схеме инвертора напряжения с каскадным многоуровневым соединением H-мостовых ячеек. Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы:
- применение оптимизированного алгоритма векторного управления каскадным многоуровневым преобразователем частоты дает возможность увеличить КПД системы на 1-1,1% по сравнению с известными алгоритмами;
- анализ гармонического состава питающего напряжения ЭГПА подтвердил возможность работы без входного фильтра высших гармоник, что значительно уменьшает капитальные затраты на систему в целом;
- суммарные нелинейные искажения выходного напряжения каскадного многоуровневого преобразователя частоты на 1 % превышают допустимый уровень, что способствует уменьшению размеров выходного фильтра.

Повышение КПД системы в среднем на 1% объективно обеспечивает соответствующую экономию электроэнергии. Увеличение КПД системы также позволит либо дополнительно снять около 10% мощности, либо уменьшить габаритные размеры системы охлаждения, что особенно актуально при проведении реконструкции существующих компрессорных цехов.

Как показал проведенный сравнительный анализ алгоритмов управления, для обеспечения наилучших энергетических характеристик каскадного многоуровневого преобразователя частоты наиболее перспективно применение алгоритма пространственной модуляции базовых векторов.

#### Библиографический список

1. **Архангельский, Н.Л.** Новые алгоритмы в управлении асинхронным электроприводом / Н.Л. Архангельский, Б.С. Курнышев, А.Б. Виноградов // *Электротехника*. – 1991. – №10. – С. 9–13.
2. **Садиков, Д.Г.** Выбор перспективной топологии построения преобразователя частоты для высоковольтного электродвигателя электроприводного газо-перекачивающего агрегата // *Инженерный вестник Дона*. – 2014. – №1.

3. **Виноградов, А.Б.** Адаптивная система векторного управления асинхронным электроприводом / А.Б. Виноградов, В.Л. Чистосердов, А.Н. Сибирцев // Электротехника. – 2003. – №7. – С. 7–17.
4. **Celanovic, N.** Space vector modulation and control of multilevel converters // Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor Of Philosophy in Electrical Engineering and Computer Engineering. – September 20. – 2000. – Blacksburg, Virginia.
5. **Калачев, Ю.Н.** Векторное регулирование (заметки практика): метод. пособие / Ю.Н. Калачев. – М.: Эфо, 2013. – 70 с.

*Дата поступления  
в редакцию 19.01.2017*

**D. Sadikov<sup>1</sup>, V. Titov<sup>2</sup>, D. Umarov<sup>3</sup>**

**DEVELOPMENT THE ALGORITHM OF CONTROL  
OF THE CASCADE MULTILEVEL INVERTER**

JSC «Giprogazcenter»<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev<sup>2</sup>,  
JSC «Vimpel»<sup>3</sup>

The article considers the description of the developed space-vector algorithm of control of the cascade multilevel inverter is submitted. Process of optimization of algorithm by criterion of the minimum electricity consumption from a power grid is described. Results of modeling of system of the electric drive on the basis of the cascade multilevel inverter of frequency with use of the developed algorithm are given. Comparison of results of application of the offered algorithm with known algorithms showed high efficiency of the proposed solutions regarding increase of efficiency and providing high power characteristics of system of the electric drive.

*Key words:* pulse-width modulation, cascade multilevel inverter of frequency, control system, optimization, energy efficiency.

УДК 681.7.068

С.А. Капустин<sup>1</sup>, В.А. Малахов<sup>1</sup>, Г.С. Малышев<sup>2</sup>, А.С. Раевский<sup>1</sup>**РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ДИСПЕРСИИ ВОЛОКОННОГО СВЕТОВОДА  
НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОФИЛЯ ПОКАЗАТЕЛЯ  
ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЗАГОТОВКИ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
АО «ОКБМ Африкантов»<sup>2</sup>

Изложена методика расчета коэффициента дисперсии на основе результатов измерения профиля показателя преломления заготовки на установке Р-102 в лаборатории технологии волоконных световодов в ИХВВ им. Г.Г. Девярых (РАН). Данные заготовки выполнены методом химического осаждения внутри опорной кварцевой трубки (MCVD-метод).

*Ключевые слова:* волоконный световод, профиль показателя преломления, заготовка волоконного световода, дисперсионный параметр.

**Введение**

Для систем волоконно-оптической связи со спектральным уплотнением каналов необходимы волоконные световоды (ВС) с точно определенным значением величины дисперсии в заданном диапазоне длин волн, включая значения, близкие к нулю [1]. Максимально обеспечить выполнение этих условий можно только в световодах с достаточно сложным профилем показателя преломления (ППП) [2]. Приближенное представление дисперсии в таких световодах в виде суммы материальной и волноводной приводит к существенным погрешностям. Чтобы этого избежать, необходимо уже на начальном этапе решения уравнений Максвелла учитывать зависимость ППП световода от длины волны.

**Теоретическая часть**

Одной из наиболее важных характеристик одномодовых световодов является дисперсионный параметр  $\beta_2$  [3], определяемый как

$$\beta_2 = \frac{d^2\beta}{d\omega^2}. \quad (1)$$

где  $\beta(\omega)$  – это продольное волновое число основной волны  $HE_{11}$  (находится при решении дисперсионного уравнения волн ВС). Параметр  $\beta_2$  имеет размерность  $[\text{пс}^2/\text{км}]$ .

Принцип получения дисперсионного уравнения волн градиентного ВС изложен в работе [4], в которой после ряда преобразований удалось представить дисперсионное уравнение в виде равенства нулю определителя второго порядка. Для представления составляющих поля во всех слоях этого световода, за исключением первого и последнего, вместо стандартной комбинации функций Бесселя и Неймана использовалась другая их комбинация, что позволило представить составляющие поля в виде степенных рядов с высокой скоростью сходимости.

По указанному алгоритму была написана программа на языке программирования C++ в среде MS Visual Studio, позволяющая вычислять дисперсионные характеристики волн и коэффициент дисперсии волоконных световодов с произвольным законом изменения концентрации легирующих добавок от радиальной координаты (с произвольным ППП). При этом на каждом шаге нахождения корней дисперсионного уравнения в аппроксимирующих слоях поперечного сечения световода учитывалась зависимость показателей преломления

этих слоев от длины волны. С использованием данной программы были рассчитаны дисперсионные характеристики для заготовок, полученных в лаборатории технологии волоконных световодов Института химии высокочистых веществ РАН.

Профиль показателя преломления в сечении заготовки измерялся при помощи анализатора заготовок P-102 фирмы York Technology (рис. 1).



**Рис. 1. Внешний вид анализатора заготовок P-102 фирмы York Technology для измерения профиля показателя преломления кварцевых заготовок**

Принцип определения показателя преломления основан на явлении отклонения оптического луча в средах с неоднородной оптической плотностью. Блок-схема оптической части установки P-102 приведена на рис. 2. На рис. 3 показан внешний вид измерительной ячейки. Луч от He-Ne лазера с рабочей длиной волны 0,63 мкм после поворотного зеркала и входной оптической системы пересекает преформу. Чтобы свести к минимуму влияние формы оболочки на ввод луча, преформа в зоне измерений помещается в прямоугольную кювету, заполненную иммерсионной жидкостью, имеющей показатель преломления такой же, как оболочка волоконного световода. В результате отличия оптической плотности сердцевины преформы от оболочки образуется цилиндрическая линза, которая отклоняет луч. Пройдя измерительный объектив, измеритель отклонений, поворотное зеркало, луч через собирающую цилиндрическую линзу попадает в детектор луча.

Измеритель отклонений содержит модулятор, оптодатчик и счетчик. При прохождении края модулятора через стартовый датчик счетчик (на рис. 2 не показан) начинает считать импульсы со стабильного генератора, а при пересечении луча счет останавливается. При изменении позиции луча меняется время, а значит и число отсчетов. Таким образом, при перемещении кюветы с преформой прописывается функция отклонения. Далее программа пересчитывает ее с учетом перемещения в функцию отклонения оптической плотности (профиль показателя преломления).

Установка P-102 позволяет перемещать заготовку в направлении, перпендикулярном оси заготовки, с шагом от 5 до 400 мкм. Точность определения абсолютной величины показателя преломления не хуже  $5 \cdot 10^{-4}$ .

При перетягивании заготовки в волоконный световод изменения профиля показателя преломления практически не наблюдается. Поэтому есть все основания считать, что профиль



показателя преломления, измеренный в сечении заготовки, характеризует и профиль показателя преломления в световоде. Следует лишь учитывать пропорциональное изменение всех геометрических размеров в соответствии с коэффициентом перетяжки полученной заготовки в световод.

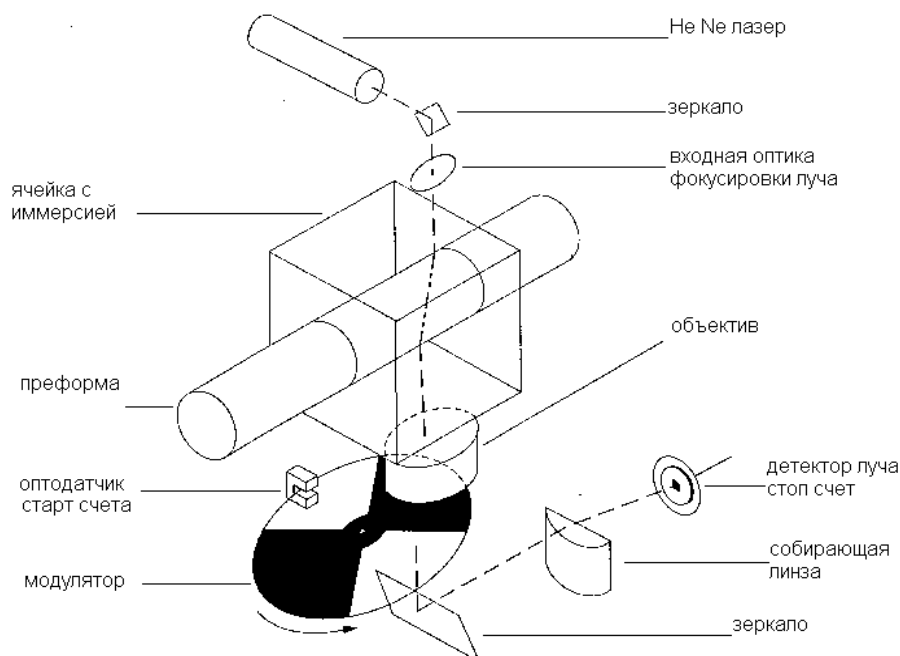


Рис. 2. Блок-схема оптической части установки Р-102



Рис. 3. Измерительная ячейка анализатора заготовок Р-102

К сожалению, нельзя создать универсальный алгоритм, пригодный для расчета параметра дисперсии ВС с произвольным ППП. Дело в том, что при вычислениях необходимо знать функциональную зависимость  $n(c, \lambda)$  показателя преломления от длины волны и концентрации легирующей добавки. В большинстве же случаев возможно определить зна-

чение показателя преломления лишь для *фиксированного* значения концентрации легирующей добавки.

В современном производстве ВС широко распространено использование в качестве легирующей добавки оксида германия. Существуют работы [5], где приведены выражения, позволяющие определять показатель преломления для *произвольного* значения концентрации оксида германия в кварцевом стекле. Поэтому в данной работе проводились исследования заготовок, легированных оксидом германия.

### Экспериментальная часть

На рис. 4 приведен пользовательский интерфейс программы, в которой реализован описанный метод расчёта интегральных характеристик волоконного световода: дисперсионной характеристики и спектральной зависимости коэффициента дисперсии для данного ВС. Анализ большого массива данных, полученных в результате измерений, позволил выделить три наиболее типичных профиля. Они изображены на рис. 5.

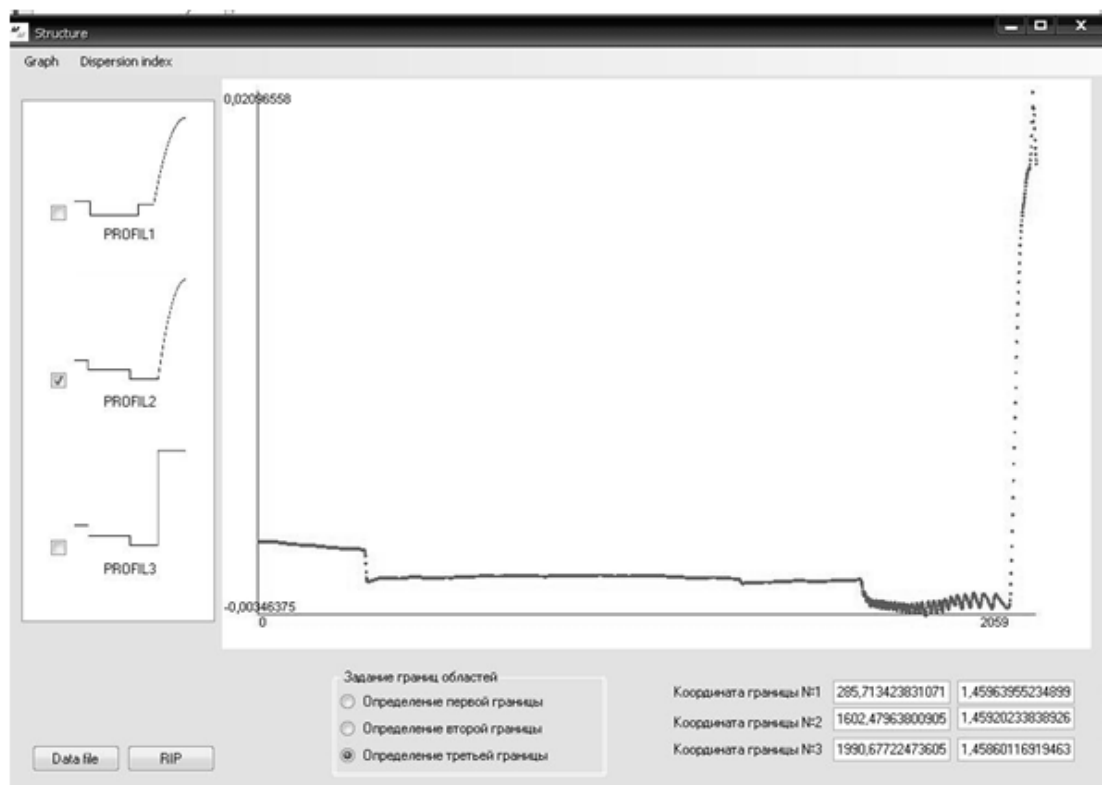


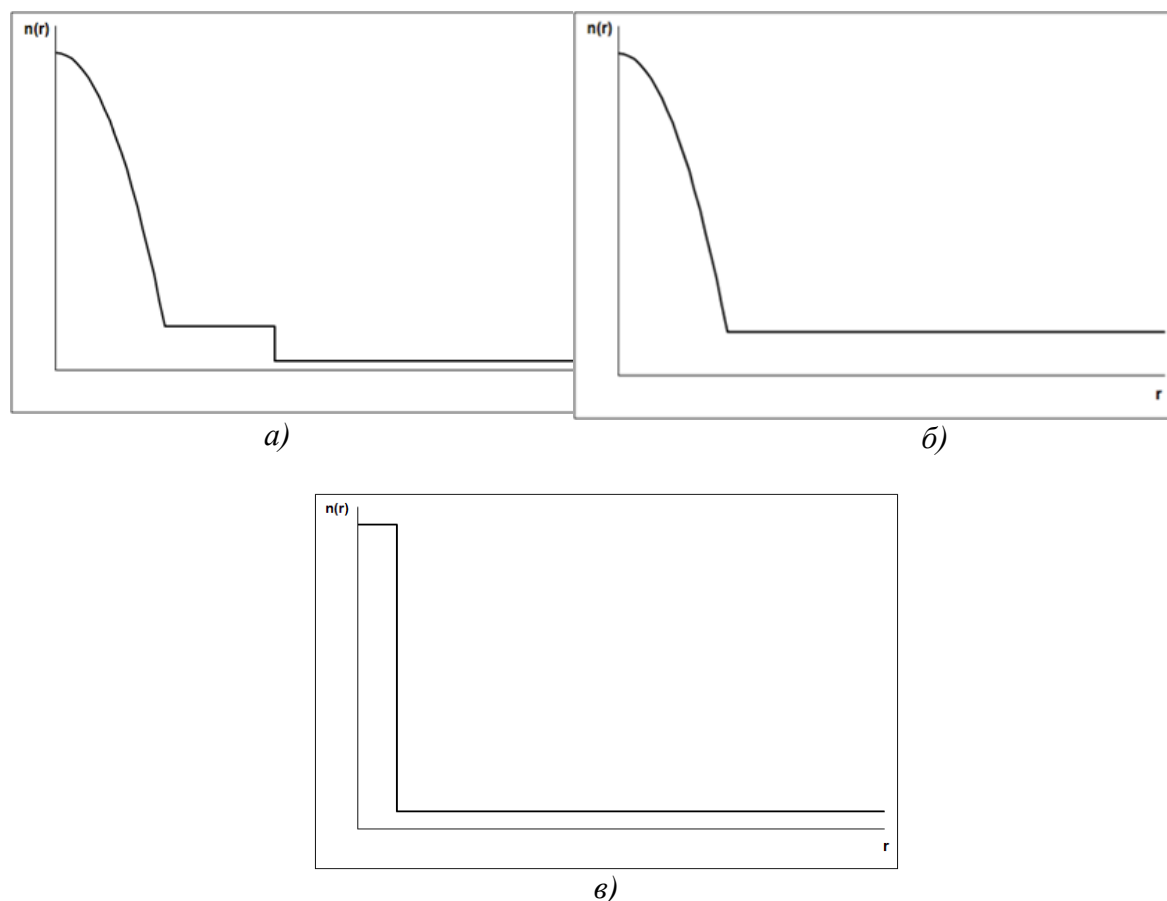
Рис. 4. Пользовательский интерфейс программы расчета коэффициента дисперсии

Для точного расчета коэффициента дисперсии необходим учет дисперсии материала [6]. Во всех трех случаях исследовались заготовки из кварцевого стекла, легированного оксидом германия. Внешняя оболочка преформы изготавливалась из чистого кварца. При нажатии на кнопку «Data file» открывается окно диалога, с помощью которого пользователь может выбрать файл с данными, полученными с помощью установки P-102. После этого происходит считывание данных из файла и построение ППП в графическом окне. Пользователь сравнивает построенную зависимость с одним из трех видов структур, отображенных слева от графического окна. По результатам сравнения устанавливается галочка напротив подходящего профиля. Запуск на расчет дисперсионных характеристик и коэффициентов дисперсии производится кнопкой «RIP». Все полученные в результате вычислений данные сохраняются в отдельных файлах.

Данная программа может быть использована для расчёта интегральных характеристик

световодов с произвольными значениями концентраций оксида германия в каждом из слоев приведенных структур. При этом геометрические соотношения между размерами слоёв могут быть произвольными.

Остановимся подробнее на процессе обработки экспериментальных данных, считанных из файла. Алгоритм основан на методе многоступенчатой аппроксимации реального профиля, поэтому важной задачей являлось выделение из всего массива данных только тех, которые будут непосредственно обрабатываться в программе. Первоначально следует выделить те участки ППП, в пределах которых показатель преломления либо постоянен, либо градиентно изменяется, зафиксировать их геометрические размеры. Для этого численно фиксировались все резкие перепады в пределах экспериментально измеренного профиля. Координаты этих перепадов выводятся в текст – боксы «координата границы» (рис. 4). Пользователь также может ввести координаты границ областей вручную. Для этого в групп-боксе «задание границ областей» пользователь устанавливает одну из радиокнопок определения границ (рис. 4), после чего щелкает мышью на соответствующий резкий перепад профиля, выведенного в графическом окне. И так для каждого перепада.



**Рис. 5. Наиболее типичные профили показателей преломления волоконных световодов**

Из рис. 4 хорошо видно, что те участки ППП, которые в идеале должны иметь неизменный по радиальной координате показатель преломления, в реальности таковым не обладают, что связано с несовершенством технологического процесса изготовления заготовок. Поэтому в пределах данных участков необходимо было производить усреднение показателя преломления. Усреднённое значение и использовалось в процессе дальнейших вычислений.

Все три рассматриваемых типа ППП имеют своим последним слоем участок с повышенным показателем преломления (рис. 4). Этот участок соответствует иммерсионной жидкости, в которую была помещена заготовка ВС для проведения измерения ППП. Этот

участок не должен учитываться при расчете дисперсионной характеристики световода и спектральной зависимости коэффициента дисперсии.

Далее необходимо было убрать из рассмотрения все участки, показатель преломления которых ниже, чем у кварцевой оболочки. Дело в том, что легирование кварцевого стекла оксидом германия может приводить только к повышению показателя преломления. Понижение же показателя преломления возникает из-за добавления других видов легирующих добавок (например фтора), что связано с технологическими особенностями производства заготовок. Добавление понижающих добавок приводит к изменению температуры стеклования, вязкости и других параметров кварцевых стекол, что дает некоторые преимущества в процессе изготовления преформ. Однако в процессе вытяжки световода из заготовки данный провал в ППП фактически полностью исчезает, поэтому его можно не учитывать в процессе вычислений.

Размеры каждого выделенного слоя заготовки необходимо пересчитать в размеры слоев световода. Эти размеры определяются из простых соотношений

$$r_{N-1} = \frac{r'_{N-1}}{r'_N} 62,5; \quad r_{i-1} = \frac{r'_{i-1}}{r'_i} r_i; \quad i = 2, \dots, N-1,$$

где  $N$  – число аппроксимирующих слоев;  $r'_N$  и  $r'_{N-1}$  – радиус последнего и предпоследнего слоев (штрих соответствует размерам слоев заготовки);  $r_i$  и  $r_{i-1}$  – размеры слоев световода, соответствующие размерам  $r'_i$  и  $r'_{i-1}$ , считанным из файла. В нашем случае последним слоем является кварцевая оболочка. При получении дисперсионного уравнения волн волоконного световода полагается, что внешняя оболочка имеет бесконечные размеры, то есть  $r'_N = \infty$ , что совершенно оправдано, так как поле во внешней оболочке очень быстро затухает по радиальной координате. В приведенных выражениях учтено, что диаметры стандартных оптических волокон составляют 125 мкм, поэтому радиусы слоев световода вычисляются в микрометрах.

После аппроксимации ППП, считанного из файла, требуется определить концентрацию легирующей добавки в пределах каждого аппроксимирующего слоя. Для этого необходимо решить уравнения вида

$$n(c, \lambda) - n_i = 0, \quad (2)$$

где  $n_i$  – показатель преломления в аппроксимирующем слое с номером  $i$ ;  $\lambda$  – длина волны, на которой и производилось измерение ППП. Данное уравнение решается относительно концентрации  $c$  на длине волны  $\lambda = 0,632$  мкм. Очевидно, что необходимо знать функциональную зависимость  $n(c, \lambda)$  показателя преломления от длины волны и концентрации легирующей добавки. Эта зависимость дается выражением [6]

$$n^2 = 1 + \sum_{i=1}^3 \frac{[SA_i + 0,01c(GA_i - SA_i)]\lambda^2}{\lambda^2 - [Sl_i + 0,01c(Gl_i - Sl_i)]^2}, \quad (3)$$

где  $SA_i$ ,  $Sl_i$ ,  $GA_i$  и  $Gl_i$  – так называемые коэффициенты Зельмеера (пределяются из табл. 1). Концентрация  $c$  задается в молярных процентах.

Таблица 1

Значения коэффициентов формулы Зельмеера

Состав стекла	Тип коэффициента	$i$		
		1	2	3
Чистый SiO <sub>2</sub>	SA <sub><i>i</i></sub>	0.6961663	0.4079426	0.8974794
	Sl <sub><i>i</i></sub>	0.0684043	0.1162414	9.896161
Чистый GeO <sub>2</sub>	GA <sub><i>i</i></sub>	0.80686642	0.71815848	0.85416831
	Gl <sub><i>i</i></sub>	0.068972606	0.15396605	11.841931

После определения радиусов всех аппроксимирующих слоев и концентрации легирующих добавок в каждом из них можно переходить к непосредственному вычислению дисперсионных характеристик.

### Порядок проведения расчётов

Методика расчёта дисперсионных характеристик в случае учёта материальной дисперсии состоит в следующем:

1. Фиксируется некоторая длина волны, на которой будут находиться корни дисперсионного уравнения.

2. По известным значениям концентраций примесей  $c_i$  в каждом слое определяется показатель преломления в данном слое с номером  $i$  на фиксированной длине волны с использованием формул (2) и (3), а также данных табл. 1.

3. По известному значению показателя преломления  $n_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) в каждом слое для фиксированной длины волны определяются нормированные поперечные волновые числа  $u_i$  на заданной частоте для каждого из слоёв по формуле

$$u_i = \sqrt{n_i^2 - n_e^2}, \quad \text{где } n_e = \beta/k_0, \quad k_0 = 2\pi/\lambda.$$

4. Производится решение дисперсионного уравнения. Задаётся шаг по  $n_e$ . На каждом шаге вычисляется выражение  $u_i = \sqrt{n_i^2 - n_e^2}$ , где  $i = 1, 2, \dots, N$ . Пределы изменения  $n_e$  определяются неравенством  $n_N(\lambda) \leq n_e < n_1(\lambda)$ . Вычислив на фиксированной частоте нормированные поперечные волновые числа  $u_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) для всех слоёв, нужно перейти к поиску корней самого дисперсионного уравнения, двигаясь с шагом по  $n_e$  на заданной частоте.

5. Операции 1–4 повторяются для другого значения длины волны и т.д.

Для поиска дисперсионного параметра  $\beta_2$  необходимо численное нахождение второй производной продольного волнового числа основной волны по формуле (1), для чего требуется получение решений дисперсионного уравнения волн волоконного световода с *очень высокой* точностью. Этот факт отмечался ранее другими исследователями [7]. Вторая производная функции  $f(x)$  в точке  $x_0$  вычисляется по формуле безразностного дифференцирования [8]

$$f_0'' = \frac{1}{h^2} [f_{-1} - 2f_0 + f_1] - \frac{h^2}{12} f^{\text{IV}}(\xi_2), \quad (4)$$

где  $\xi_2 \approx x_0$ ;  $f_0'' = f''(x_0)$ ;  $f_{-1} = f(x_0 - h)$ ;  $f_1 = f(x_0 + h)$ ;  $f_0 = f(x_0)$ .

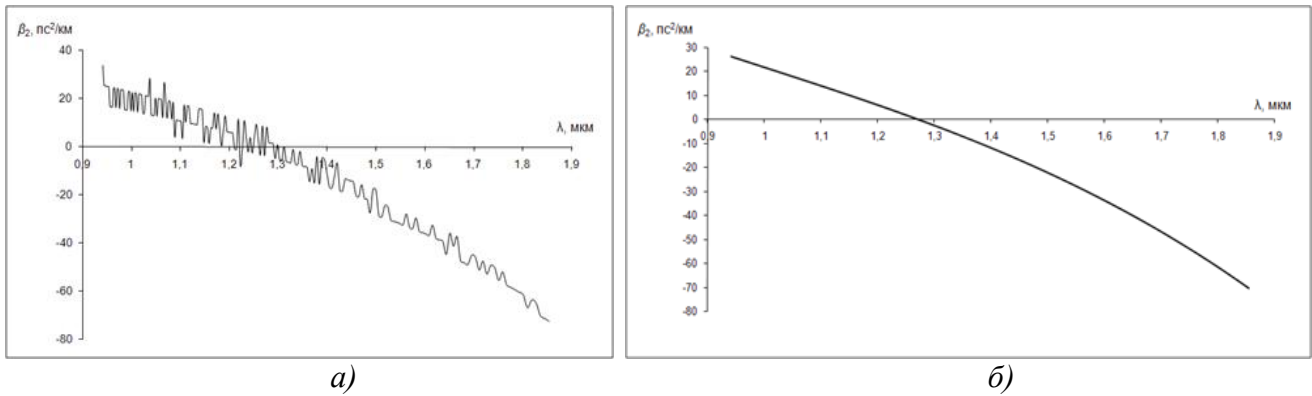
То есть приближённо

$$f_0'' = \frac{1}{h^2} [f_{-1} - 2f_0 + f_1]. \quad (5)$$

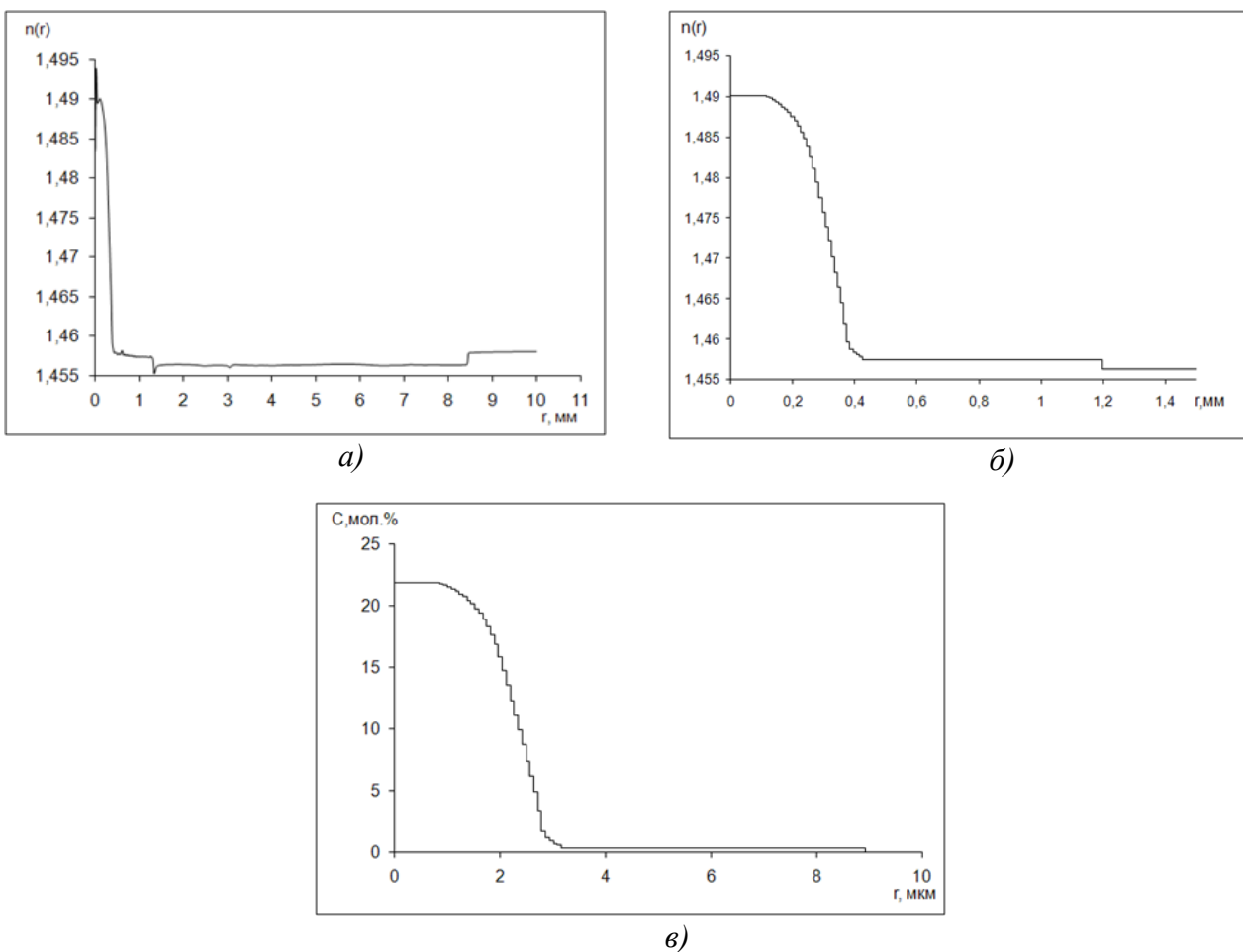
Очевидно, чем меньше будет выбран шаг  $h$ , тем точнее определяемое по формуле (5) значение  $f_0''$ . Однако, если при этом величину шага  $h$  выбрать слишком малой, то получится большая ошибка из-за вычитания двух близких величин, то есть  $(f_{-1} - f_0)$  и  $(f_1 - f_0)$ . Поэтому для высокой точности вычислений необходимо как можно точнее определять значения  $f_{-1}$ ,  $f_1$  и  $f_0$ .

Приведём пример, показывающий влияние точности вычисления значений  $f_{-1}$ ,  $f_1$  и  $f_0$  на поведение второй производной, вычисляемой по формуле (5). Рассмотрим обычный ВС со ступенчатым ППП. Концентрация оксида германия в сердцевине радиусом 5 мм составляет  $c = 6,205$  мол. %. Такой тип ППП относится к третьему типу (рис. 5, в).

Найдём зависимость  $\beta_2 = \frac{d^2\beta}{d\omega^2}$  от длины волны, пользуясь формулой (5). При этом величины  $f_{-1}$ ,  $f_1$  и  $f_0$  будем вычислять с точностью до 10-го знака после запятой. Результат расчёта приведён на рис. 6, а. Далее проводим те же самые вычисления, но теперь находим  $f_{-1}$ ,  $f_1$  и  $f_0$  с точностью до 15-го знака. Результат приведён на рис. 6, б.



**Рис. 6. Результаты расчета спектральной зависимости коэффициента дисперсии:**  
*а* – с точностью до 10-го знака; *б* – с точностью до 15-го знака



**Рис. 7. Заготовка с ППП №1:**

*а* – измеренный профиль показателя преломления; *б* – результат аппроксимации ППП;  
*в* – послойное распределение концентрации  $\text{GeO}_2$  в световоде, вытянутом из заготовки

Сравнивая результаты, приведённые на рис. 6, а, б, можно сделать вывод о необходимости вычисления величин, входящих в формулу (5), с очень высокой точностью. Однако из формулы (4) видно, что оценить аналитически погрешность  $\frac{h^2}{12} f^{IV}(\xi_2)$  вычисления второй производной невозможно. Поэтому и величину шага  $h$ , и точность вычисления величин  $f_{-1}$ ,  $f_1$  и  $f_0$  из (5) приходится определять численно для каждой конкретной задачи в отдельности.

В качестве примера рассмотрим заготовку с ППП №1, рис. 7, а. На рис. 7, б приведен результат аппроксимации ППП, на рис. 7, в – послойное распределение концентрации  $\text{GeO}_2$  в световоде, вытянутом из заготовки №1. На рис. 8 представлена спектральная зависимость коэффициента дисперсии  $\beta_2$  для данного световода.

Таким образом, представленные алгоритм и программа позволяют произвести строгий расчет коэффициента дисперсии волоконного световода по результатам измерения профиля показателя преломления заготовки, полученным на установке Р-102.

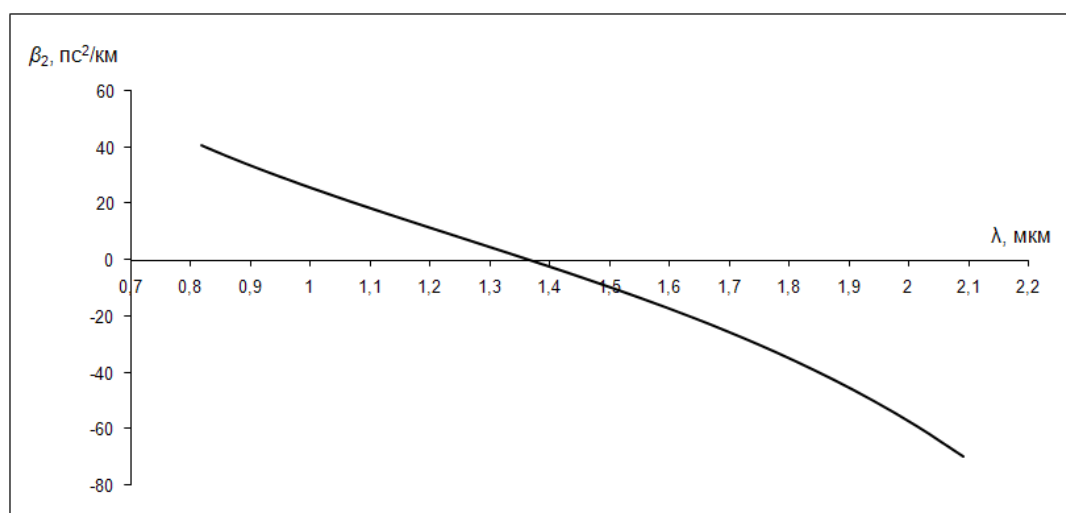


Рис. 8. Рассчитанная спектральная зависимость коэффициента дисперсии световода с ППП №1

#### Библиографический список

1. Беланов, А.С. Предельные скорости передачи информации по волоконным световодам / А.С. Беланов, Е.М. Дианов // Радиотехника. – 1982. – Т. 37. – № 2. – С. 35–43.
2. Беланов, А.С. О возможности компенсации материальной дисперсии в трехслойных волоконных световодах в диапазоне  $\lambda < 1,3$  мкм / А.С. Беланов [и др.] // Квантовая электроника. – 2002. – Т. 32. – №5. – С. 426.
3. Агравал, Г. Нелинейная волоконная оптика / Г. Агравал; под ред. П.В. Мамышева. – М.: Мир, 1996. – 323 с.
4. Беланов, А.С. Дисперсия в световодах со сложным профилем показателя преломления / А.С. Беланов, Е.М. Дианов, В.И. Кривенков // Доклады академии наук. – 1999. – Т. 364. – №1. – С. 37–41.
5. Беловалов, М.И. Элементы ВОЛС и методы их исследования / М.И. Беловалов [и др.] // Труды ИОФАН. Волоконная оптика. – 1987. – Т. 5. – С. 125–135.
6. Fleming, J. W. Dispersion in  $\text{GeO}_2$ - $\text{SiO}_2$  glasses // J. W. Fleming // Applied Optics. – 1984. – V. 23. – №24. – P. 4486–4493.
7. Бурдин, А.В. Алгоритм расчета хроматической дисперсии одномодовых ОВ на основе метода смешанных конечных элементов / А.В. Бурдин [и др.] // Инфокоммуникационные технологии. – 2009. – Т. 7. – №2. – С. 13–16.

8. Юнаковский, А.Д. Начала вычислительных методов для физиков / А.Д. Юнаковский. – Нижний Новгород: Институт прикладной физики РАН, 2007. – 220 с.

*Дата поступления  
в редакцию 19.01.2017*

**S.A. Kapustin<sup>1</sup>, V.A. Malahov<sup>1</sup>, G.S. Malyshev<sup>2</sup>, A.S. Raevskiy<sup>1</sup>**

**CALCULATION OF DISPERSION COEFFICIENTS OF OPTICAL FIBERS BASED  
ON MEASUREMENTS REFRACTIVE INDEX PROFILE PREFORM**

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

**Purpose:** research dispersion fiber and dispersion coefficient calculation based on measurements refractive index profile preform.

**Design/methodology/approach:** To accurately calculate the coefficient of variance must take into account the dispersion of the material. In all three cases we studied preforms of quartz glass doped with germanium oxide. The outer shell of the preform was made of pure quartz.

**Findings:** The algorithm and the program will allow to make accurate calculation of the dispersion coefficient of the optical fiber by measuring the refractive index profile of the preform obtained on the installation of P-102.

*Key words:* optical fiber, the refractive index profile, optical fiber preform, the dispersion parameter.



УДК 621.039

А.В. Безносков, Т.А. Бокова, А.Д. Зудин, А.А. Козлов, А.Г. Мелузов, О.О. Новожилова

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОТРАБОТКА НАСОСОВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ СВИНЦОВОГО И СВИНЕЦ-ВИСМУТОВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

**Предмет, тема, цель работы:** В НГТУ проводятся экспериментальные и расчетно-теоретические исследования, направленные на создание методики расчёта осевых насосов для ТЖМТ, представленной в данной статье.

**Метод или методологию проведения работы:** В целях создания эмпирически обоснованных методик проектирования и расчёта проточных частей насосов для перекачки ТЖМТ в НГТУ были проведены экспериментальные исследования, направленные на определение условий возникновения кавитации в среде ТЖМТ и ее характеристик, исследования влияния угла установки лопаток на характеристики рабочего колеса осевого насоса, а также характеристик центробежных насосов.

**Результаты и область их применения:** 1. Особенности физических характеристик ТМЖТ делают непригодным использование традиционных методов расчета и оптимального проектирования главных циркуляционных насосов этих установок. 2. Проведенные экспериментальные исследования проточных частей насоса осевого типа с различным количеством плоских лопастей и с различными углами установки лопастей позволили сделать выводы о влиянии угла установки лопатки на характеристики насоса. Оптимальный угол зависит от количества лопаток.

**Выводы:** В результате выполнения комплексной программы экспериментальных и расчетно-теоретических исследований предполагается разработка обоснованных методик расчета и оптимального проектирования лопаточных насосов, перекачивающих ТЖМТ.

*Ключевые слова:* тяжелые жидкометаллические теплоносители, насосопатка, угол установки, обоснование расчётных методик.

### Введение

Ресурсная работоспособность контура ядерного реактора существенно зависит от характеристик главного циркуляционного насоса (ГЦН) контура. Главные циркуляционные насосы в контурах реакторов на быстрых нейтронах работают в специфических условиях физических параметров свинцового и свинец-висмутного теплоносителей. Область применения последних с относительной температурой  $T_{\text{раб}} / T_{\text{кип}} = (300 - 600^\circ\text{C}) / (1600 - 1700^\circ\text{C}) = (0,2 - 0,3)$  и давлением насыщенных паров при рабочих температурах  $10^{-18}$ - $10^{-8}$  ата качественно отличаются от аналогичных термодинамических характеристик традиционных теплоносителей: воды и натрия. Разница температур кипения для ТЖМТ (тяжелых жидкометаллических теплоносителей) и рабочих температур реакторного контура составляет  $1000^\circ\text{C}$  и более, тогда как для натрия эта величина составляет около  $300^\circ\text{C}$ , а для водяного теплоносителя – около  $100^\circ\text{C}$  и менее. Относительная разница температур застывания (плавления) и рабочих температур контура, отнесенная к температурам кипения в ТЖМТ, мала.

К другим специфическим свойствам свинцового теплоносителя относятся [1, 2]:

- низкое давление насыщенного пара  $1,44 \cdot 10^{-17}$  Па при  $t = 127^\circ\text{C}$  и  $5,38 \cdot 10^{-15}$  Па при  $t = 527^\circ\text{C}$ ;
- высокая температура кипения  $t_{\text{кип}} = 1750^\circ\text{C}$  при атмосферном давлении, в условиях реакторного контура – больше;
- существенно большая плотность  $\rho = 10,5 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup> при  $t = 450^\circ\text{C}$ , определяющая силы инерции в потоке;
- большее, чем у воды, поверхностное натяжение:  $\sigma = 400$  н / м при  $t = 350^\circ\text{C}$ , определяющее поверхностные свойства теплоносителя;

- несмачиваемость поверхности сталей, имеющих защитные оксидные покрытия в условиях реакторных контуров, краевой угол смачивания оксидированных сталей (в среде сухого аргона) составляет  $\theta = 110 - 120^\circ\text{C}$ ;
- кинематическая вязкость  $\nu = 20,99 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{с}$  при  $t = 400^\circ\text{C}$ ;
- теплопроводность  $\lambda = 16,58 \text{ Вт / мК}$  при  $t = 400^\circ\text{C}$ , большая, чем у воды, но меньшая, чем у натрия.

Все это существенно изменяет характеристики процессов, происходящих при перекачке ТЖМТ. Безусловно, фундаментальные физические законы распространяются на процессы, происходящие в проточной части насосов, перекачивающих как воду, так и свинцовый и свинец-висмутовый теплоносители. Однако используемые в расчетных методиках насосов эмпирические и полуэмпирические зависимости, полученные при испытаниях на воде, делают неприменимыми эти методики для расчетов и оптимального проектирования насосов, перекачивающих ТЖМТ [3,4]. Это подтверждено опытом создания ГЦН отечественных транспортных реакторных установок со свинец-висмутовым теплоносителем и ГЦН стационарных установок со свинцовым теплоносителем.

### Актуальность

В 2010 году правительство РФ приняло ФЦП "Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010-2015 годов и на перспективу до 2020 года". Ее цель – разработать новую технологическую платформу. Основной упор в этой программе сделан на реакторах четвертого поколения (предполагает создание реакторов с замкнутым ЯТЦ, в мире до сих пор нет подобног).

Для этой цели в России планируется создание реакторных установок типа БРЕСТ (со свинцовым теплоносителем) и типа СВБР (со свинец-висмутовым теплоносителем). В этих реакторах предполагается использовать ГЦН осевого типа. Принцип действия таких насосов основан на использовании в проточной части диффузорных течений, в отличие от центробежных насосов. Диффузорный поток устойчив лишь при соблюдении определенных условий, нарушение которых ведет к отрыву пограничного слоя от обтекаемых поверхностей и полному переформированию потока. Это приводит к ухудшению характеристик лопастных систем (подачи и напора), а также к эрозии поверхностей проточной части насосов.

Испытания моделей ГЦН реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 на стенде ФТ-4 в НГТУ показали существенное различие фактических подачи и напора насоса и ожидаемых расчетных значений при проектировании насоса по традиционным методикам. Все испытанные (спроектированные по традиционным методикам) рабочие колеса насоса НСО-01 НГТУ имели больший или меньший эрозионный износ при временной базе испытаний 150-300 ч [5, 6].

Для обоснования оптимального проектирования проточной части осевого насоса, перекачивающего высокотемпературный свинцовый теплоноситель в НГТУ была разработана программа НИР, результаты отдельных этапов которой представлены в настоящей статье.

### Цель работы

Целью этой работы было проведение экспериментальных и расчетно-теоретических исследований, направленных:

- на исследование зависимости характеристик лопастной системы от угла установки лопаток в свинцовом высокотемпературном теплоносителе.
- определение условий возникновения и характеристик кавитации в ТЖМТ контуров с реакторами на быстрых нейтронах, охлаждаемых свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями.
- исследование характеристик эрозионного износа поверхностей лопастной системы осевых насосов после испытаний в высокотемпературном свинцовом теплоносителе.

Предполагается, что проведенные экспериментальные исследования помогут сфор-

мулировать рекомендации по определению оптимальной геометрии и конструкции насосов, перекачивающих высокотемпературный ТЖМТ.

Существующие методики непригодны для расчетов насосов с ТЖМТ. В НГТУ проводятся экспериментальные и расчетно-теоретические исследования, направленные на создание такой методики для ТЖМТ.

Для этой цели были проведены:

- исследования кавитационных процессов в ТЖМТ, определены условия возникновения кавитации и ее характеристики;
- исследования влияния угла установки лопаток на характеристики рабочего колеса осевого насоса;
- исследования характеристик центробежных насосов.

Условия проведения экспериментов:

среда – свинец, эвтектика свинец-висмут;

- температура – 400-500 °С, кратковременно – 550 °С;
- тип насосов – центробежные, осевые;
- подача ТЖМТ – 8-200 м<sup>3</sup>/ч (80-2000 т/ч);
- термодинамическая активность кислорода в ТЖМТ – 10<sup>-5</sup>-100;
- давление над свободным уровнем ТЖМТ ~ 0,0 кгс/см<sup>2</sup> – 5 кгс/см<sup>2</sup> (ата);
- расход - переменный с регулируемой скоростью вращения вала электропривода за счет частотного регулирования.

Проведенные исследования направлены на обоснование геометрических характеристик проточных частей лопастных насосов в ТЖМТ.

### **Описание экспериментального стенда**

#### **Принципиальная схема и компоновка контура**

В состав контура свинцового теплоносителя входят следующие основные элементы:

- электронасос стенда с установленной в нем моделью проточной части ГЦН;
- задвижка регулирования расхода теплоносителя в контуре;
- парогенератор (теплообменный модуль);
- трубопроводы Ду 200 мм основного циркуляционного контура;
- сильфонный компенсатор Ду 200 осевого типа;
- бачки отжимные для замера давления на входе в электронасос и в его напорной камере;
- плавбак (бак дренажный);
- фильтр механический;
- трубопроводы и арматура систем очистки, заполнения и дренажа свинцового теплоносителя;
- подсистема контроля и регулирования содержания кислорода в свинцовом теплоносителе и очистки контура и теплоносителя от нерастворенных оксидов свинца;
- контрольно-измерительные приборы, входящие в систему сбора обработки и предоставления информации.

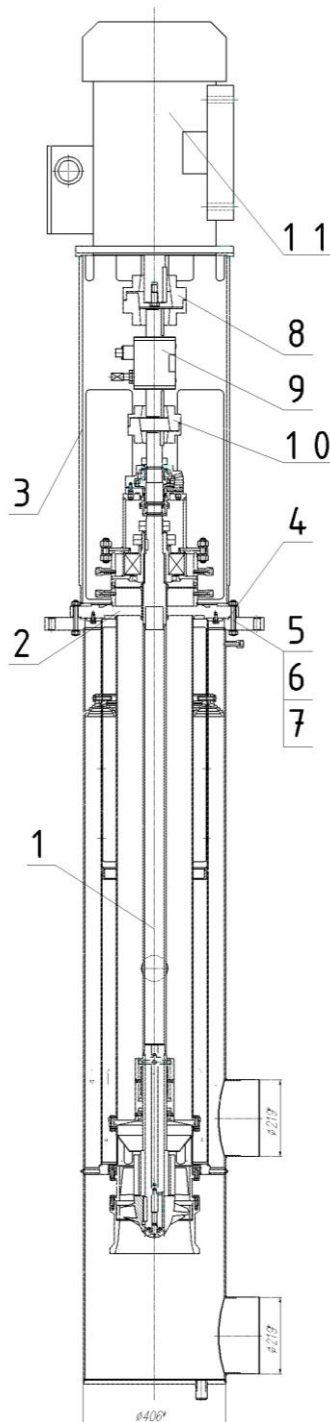
Газовый объем полостей электронасоса стенда, парогенератора и дренажного бака, расположенный выше свободных уровней теплоносителей, является совместным для контура свинцового теплоносителя и газовой системы.

Оборудование и трубопроводы контура свинцового теплоносителя выполнены в основном из аустенитной стали типа 08Х1Н10Т, имеют секции обогрева с термopарами, а также теплоизоляцию с защитным кожухом из фольги.

Контур циркуляции свинцового теплоносителя выполнен из труб Ø219х3,0 мм и включает последовательные соединения: электронасос, участок трубопровода Ду200, задвижку регулирования расхода теплоносителя клиновую, участок трубопровода Ду200,

сильфон, участок трубопровода Ду200, парогенератор с трубками Фильда, участок трубопровода Ду200, электронасос. Трубопроводы системы заполнения основного циркуляционного контура свинцовым теплоносителем из плавбака через фильтр и дренирования свинца из днищ корпусов насоса и парогенератора выполнены из трубопроводов и арматуры Ду30.

### Электронасос НСО-01



**Рис. 1. Электронасос НСО-01:**

- 1 – бак насоса; 2 – выемная часть; 3 – стакан;  
4 – прокладка; 5 – гайка; 6 – шайба; 7 – шпилька;  
8 – муфта HRC-150; 9 – датчик крутящего момента; 10 – муфта HRC-180;  
11 – электродвигатель

Электронасос стенда предназначен для проведения испытаний и отработки проточной части модели ГЦН РУ БРЕСТ-ОД-300, обеспечения циркуляции по основному циркуляционному контуру стенда, а также для проверки конструктивных решений и отработки гидростатического подшипника, входящего в состав электронасоса.

Основные характеристики электронасоса в составе стенда:

1. Перекачиваемая среда – расплав свинца с эксплуатационным содержанием примесей РУ БРЕСТ-ОД-300 с возможностью увеличения содержания кислорода до образования в контуре оксидов свинца и с возможностью глубокого (до т/а  $O_2$  в Pb до  $10^{-5}$ ) раскисления теплоносителя.

2. Подача свинцового теплоносителя – до 1500 – 2000 т/ч.

3. Перепад, создаваемый насосом до ок. 2,5 м.ст.свинца.

4. Положение верхнего обреза трубы постоянного напора переменное – 1200–1500 мм от оси рабочего колеса

5. Температура перекачиваемого свинца – до 500°C, кратковременно – до 550°C.

6. Число оборотов вала электронасоса номинальное – ок. 1500 об/мин.

7. Регулирование числа оборотов асинхронных электродвигателей приводов насоса – частотное с использованием преобразователей частоты.

8. Электропривод – асинхронные электродвигатели (с номинальным числом оборотов ок. 1500 об/мин) в комплекте с преобразователями частоты.

9. Мощность электродвигателя электронасоса – 50 кВт.

10. Уплотнение вращающегося вала насоса по газу – торцевое.

11. Среда в газовой полости электронасоса – аргон, водород, аргонно-водородные, аргонно-кислородные смеси.

12. Охлаждение подшипников качения и вала электронасоса – водяное.

13. Система обогрева корпуса электронасоса электрическая, секциями из нихромовых электроспиралей.

Описание конструкции электронасоса НСО-01 (рис. 1).

В состав электронасоса входят следующие основные элементы:

- электродвигатель;
- муфта передачи крутящего момента;
- датчик крутящего момента;
- узел с подшипниками качения;
- торцевое уплотнение по газу вращающегося вала;
- кронштейн;
- корпус;
- труба постоянного напора;
- вал электронасоса;
- устройство поворота потока (отвода) на входе в трубу постоянного напора;
- подшипник гидростатический;
- спрямляющий аппарат;
- колесо рабочее осевого типа;
- патрубки подвода и отвода свинцового теплоносителя.

В состав электронасоса входят средства контроля давления в потоке свинца (трубка Пито-Прандтля), положения уровня свинца (электроконтактные датчики), датчики температуры (термопары). Конструкция электронасоса и размещение его в помещении обеспечивают возможность демонтажа и монтажа выемной части из корпуса насоса. Конструкция обеспечивает изменение (уменьшение) высоты трубы постоянного напора. Номинальное положение верхнего обреза трубы постоянного напора – 1500 мм от проточной части насоса, минимальная высота – 1200 мм.

### Результаты испытаний

#### Характеристики лопастных систем осевого насоса в зависимости от угла установки лопаток при четырех- и шестилопастных рабочих колесах

Целью этих работ являлось исследование характеристик лопастных систем с плоскими лопатками в свинцовом теплоносителе в зависимости от угла установки плоских лопаток на рабочем колесе насоса.

Эксперименты проводились с последовательно устанавливаемыми на валу осевого насоса НСО-01 НГТУ рабочими колесами с четырьмя и шестью плоскими лопатками с углами установки плоских лопастей  $9^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $22^\circ$ ,  $28^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $41^\circ$ ,  $46^\circ$  при температуре свинцового теплоносителя  $400-450^\circ\text{C}$  со скоростями вращения вала насоса 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 об/мин с осевым рабочим колесом  $\varnothing 200$  мм при трех гидравлических характеристиках трассы циркуляции, изменяемых положением клина задвижки на напоре насоса. Термодинамическая активность кислорода в свинцовом теплоносителе поддерживалась в диапазоне  $10^{-5}-10^{-2}$ , что обеспечивало формирование и поддержание оксидных защитных покрытий на поверхностях конструкционных материалов проточной части. Сменные лопастные системы устанавливались последовательно на выемной части осевого насоса НСО-01 НГТУ в контуре свинцового теплоносителя установки испытания моделей проточной части главного циркуляционного насоса реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 (стенда ФТ-4 в НГТУ).

Сравнительный анализ напорно-расходных характеристик при четырех плоских лопатках, установленных под углами  $15^\circ$ ,  $22^\circ$  и  $35^\circ$  (рис. 2) показывает существенное различие характеристик лопастной системы от угла установки плоских лопастей. При четырех лопатках максимальная подача насоса  $172 \text{ м}^3/\text{ч}$  соответствовала напору 0,8 м ст.Рв при 1100 об/мин, при угле установки  $22^\circ$ . Эти характеристики близки к характеристикам лопастных систем с профилированными лопатками конструкций НГТУ и ЦКБМ. При углах установки  $15^\circ$  и  $35^\circ$  макси-

мальная подача составляла 125 и 143 м<sup>3</sup>/ч при напоре 0,58 м ст.Рв и 0,6 м ст.Рв при тех же прочих условиях.

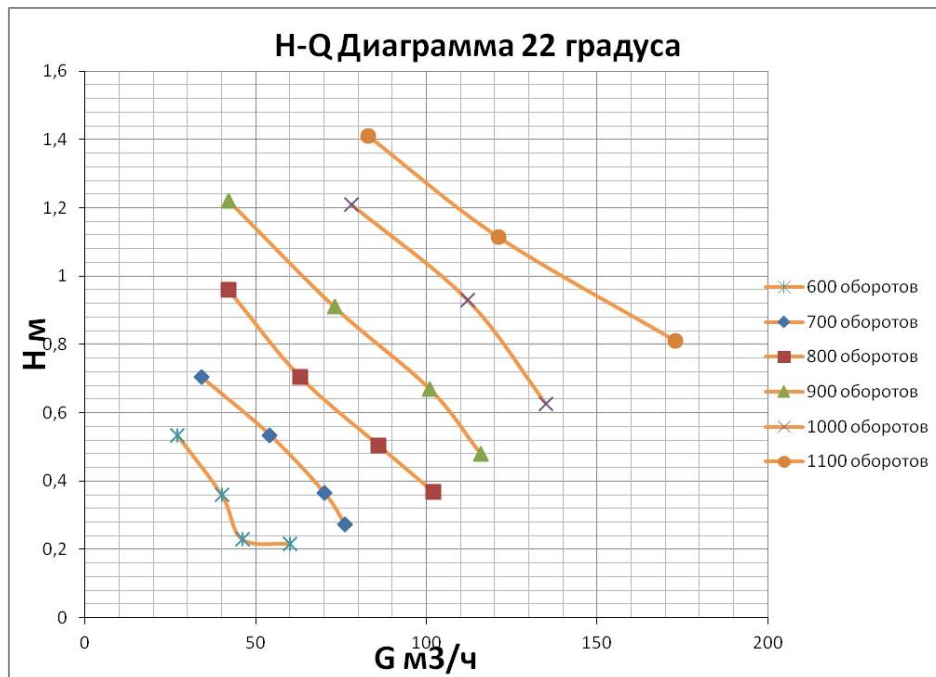


Рис. 2. Напорно-расходная характеристика для четырехлопастной системы

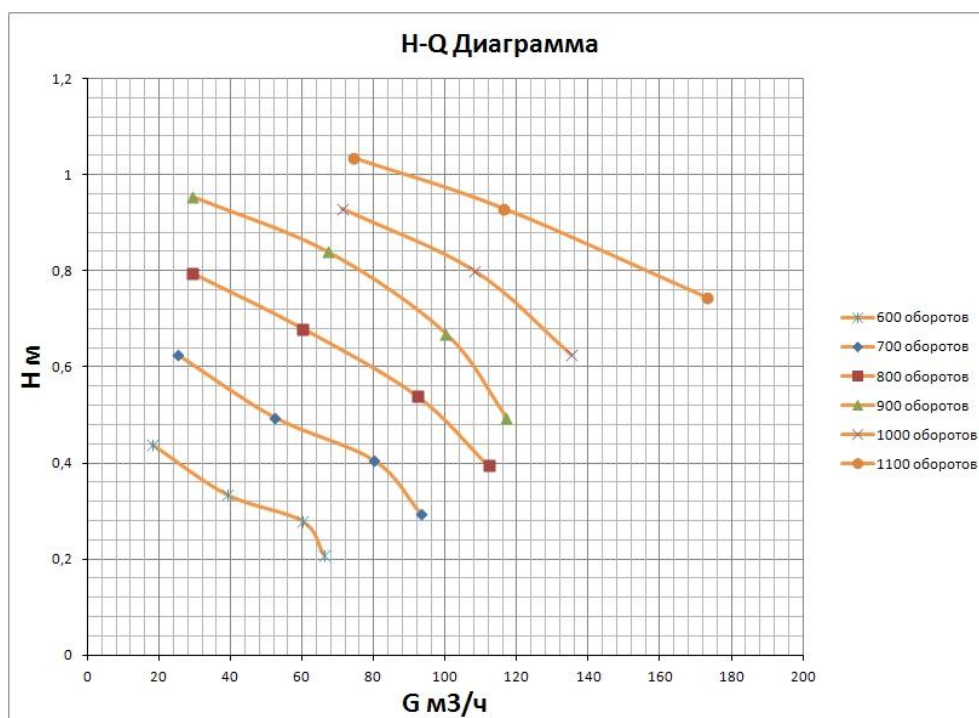


Рис. 3. Напорно-расходная характеристика для шестилопастной системы

Сравнительный анализ напорно-расходных характеристик при шести плоских лопатках, установленных под углами 22, 28 и 35° (рис. 3), показывают существенное различие характеристик лопастей системы при различном числе лопаток на рабочем колесе в аналогичных условиях. Подача насоса при угле установки лопастей 28° составляет ок. 175 м<sup>3</sup>/ч, напор – 0,75 м ст.Рв при 1100 об/мин. При углах установки 22 и 35° максимальная подача

составляла  $113 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $143 \text{ м}^3/\text{ч}$  при напоре  $0,36 \text{ м ст.Рв}$  и  $0,72 \text{ м ст.Рв}$  при тех же прочих условиях.

Сравнение характеристик насоса с четырьмя и шестью плоскими лопатками (рис. 4) показывает, что при прочих равных условиях подачи лопастных систем с четырьмя и шестью лопатками близки друг к другу, а напоры существенно различаются и зависят от угла установки лопаток.

Ход кривых зависимостей подачи и напора колес с плоскими четырьмя и шестью лопатками аналогичны, однако максимумы подачи при четырех лопатках при  $1100 \text{ об/мин}$  находятся в диапазоне углов установки лопаток  $20\text{-}30^\circ$ , а при шести лопатках эти максимумы сдвинуты вправо на  $5\text{-}10^\circ$ .

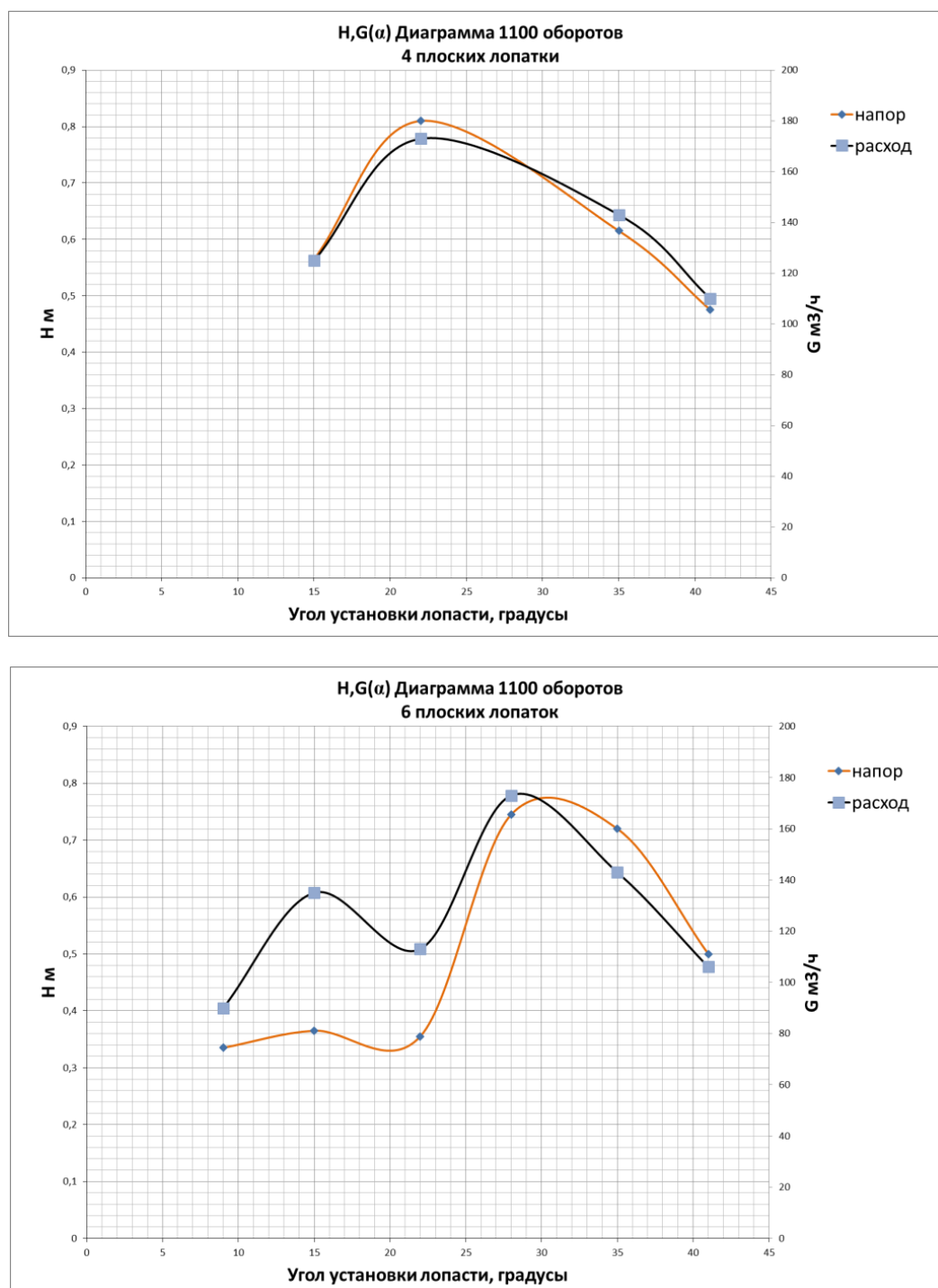
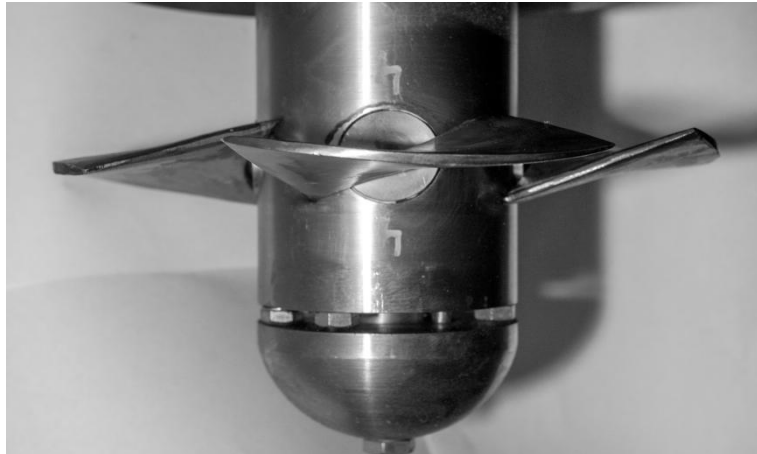


Рис. 4. Зависимость напора и расхода от угла установки плоских лопаток



**Рис. 5. Фото узла установки четырех лопаток на выемной части НСО-01 НГТУ с поворотными лопатками**

При увеличении скорости вращения вала как с четырьмя, так и с шестью лопатками от 600 до ок. 1000 об/мин при прочих равных условиях подача и напор монотонно увеличиваются. При увеличении скорости вращения вала от 1000 до 1100 об/мин фиксируется существенно более резкое возрастание как подачи, так и напора лопастной системы.

В НГТУ была создана конструкция выемной части осевого насоса НСО-01 НГТУ с поворотными лопатками (рис. 5). Проверка полученных ранее данных в условиях высокотемпературного свинцового теплоносителя с использованием этого устройства по характеристикам лопастных систем подтвердила достоверность полученных ранее результатов.

#### **Исследование кавитационных характеристик свинцового и свинец-висмутового теплоносителей**

Кавитационные характеристики ТЖМТ существенно отличаются от таковых у других теплоносителей ядерных реакторов. Характеристики взаимодействия (сцепления) свинцового теплоносителя с поверхностью оксидированной стали (работы адгезии) существенно меньше характеристики взаимодействия (сцепления) внутри объема теплоносителя (работы когезии). Поэтому в потоке ТЖМТ при локальном уменьшении по каким-либо причинам давления со стороны поверхности потока на стенку канала поверхность потока за счет сил поверхностного натяжения, гравитации или т.д. отходит от стенки канала, образуя вихри, контактирующие со стенкой через газовую прослойку.

Между стенкой канала и поверхностью потока может образовываться газовая (парогазовая) полость. В процессе движения потока при повышении в нем локального давления, его завихренная поверхность вновь прижимается к стенке. В том случае, если нормальная составляющая скорости ТЖМТ в этом процессе достаточно велика, то возможна эрозия локального участка поверхности с характеристиками, похожими на разрушение при традиционной кавитации [7, 8, 9].

Одной из целей данного комплекса работ являлось исследование условий возникновения кавитации (двухкомпонентного потока: ТЖМТ-газ (парогазовая смесь)), характеристик кавитации и ее типа.

Эксперименты проводились на четырех стендах со свинцовым теплоносителем. На двух из них исследовались процессы кавитации в центробежных насосах, на двух других – в осевых насосах. На одном из стендов с центробежным насосом (ФТ-3 НГТУ) исследовались так же кавитационные характеристики потока свинца в сопле Вентури. Температура свинцового теплоносителя в процессе экспериментов составляла 440-550°C, подача насосов объемная от 6 до 200 м<sup>3</sup>/ч, что соответствовало массовой подаче 60-2000 т/ч. Скорость вращения вала центробежных насосов – до 2400 об/мин, осевых насосов – до 1400 об/мин, максималь-

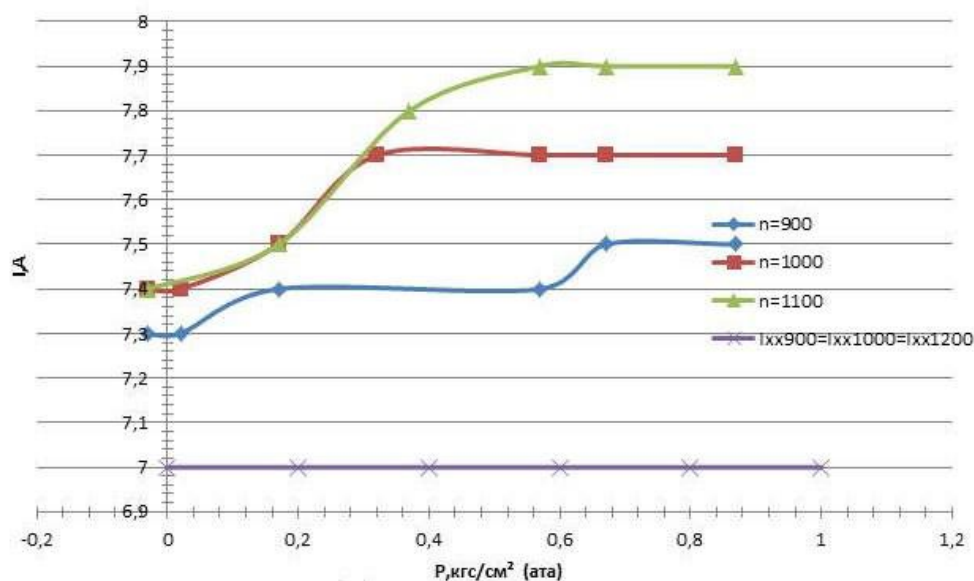


ное значение переносной скорости потока в осевых насосах – до 14 м/с. Термодинамическая активность кислорода в теплоносителе составляла  $10^{-5}$ - $10^0$ , в последнем случае – при наличии твердой фазы оксидов свинца.

Такой диапазон содержания кислорода обеспечивал формирование и поддержание защитных оксидных покрытий на поверхностях проточной части насосов и их несмачиваемость теплоносителем в процессе испытаний.

В результате исследований установлено, что критическое давление в потоке, при котором начинается кавитация, составляет 0,3-0,6 кгс/см<sup>2</sup> (ата). В процессе развития кавитации, при уменьшении давления в потоке ТЖМТ вплоть до ок. 0,0 кгс/см<sup>2</sup> (ата) массовая подача и напор насоса монотонно уменьшаются, традиционный кавитационный «срыв» насоса не происходит. Аналогичные результаты получены при испытании центробежных и осевых насосов и в сопловом устройстве.

Как видно из графика рис. 6, в процессе уменьшения давления на входе в рабочее колесо центробежного насоса на стенде ФТ-3 НГТУ при  $n = 1000$  и 1100 об/мин нагрузка электродвигателя оставалась примерно постоянно до давления на входе в рабочее колесо ок. 0,6 кгс/см<sup>2</sup> (ата). При последующем уменьшении давления нагрузка электродвигателя плавно уменьшается до величины, существенно превышающей нагрузку «холостого хода», определенную экспериментально. Уменьшение полезной нагрузки насоса примерно в два раза коррелирует с уменьшением до 0,7-0,8 от исходной как массовой подачи, так и напора насоса [7].



**Рис. 6. Зависимость нагрузки на электродвигателе от давления на входе в рабочее колесо центробежного насоса НЦС-04 НГТУ на стенде ФТ-3 НГТУ**

Характер кавитации в условиях реакторных контуров со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителем соответствует так называемой газовой кавитации, а не традиционной паровой. Экспериментами в НГТУ подтверждено наличие газа в объеме отстоявшегося ТЖМТ, отобранного из длительно эксплуатировавшегося циркуляционного контура.

#### **Исследование эрозионного износа лопастных систем насосов в свинцовом теплоносителе**

Многочисленными экспериментами доказано [1, 2], что работоспособность сталей в свинцовом и свинец-висмутовом теплоносителе при температурах 400-450°C может быть обеспечена только при наличии защитных покрытий на поверхностях элементов конструкций, контактирующих с ТЖМТ. Общепринятым и рекомендованным методом защиты сталей

в реакторных установках с ТЖМТ (БРЕСТ, СВБР) является использование защитных оксидных покрытий, формируемых в процессе изготовления конструкций или формируемых и доформируемых непосредственно в составе реакторного контура в результате контакта с теплоносителем, имеющим необходимый окислительный потенциал. Применительно к условиям лопастных систем насосов, эксплуатировавшихся в свинец-висмутовом теплоносителе, использовались покрытия из бериллия. Прорабатываются варианты защиты рабочих колес ГЦН РУ со свинцовым теплоносителем нанесением на них различных покрытий до установки их в реакторный контур. Основным недостатком этих покрытий – объективная возможность их разрушения в процессе эксплуатации в результате термокачек и термоударов, механического износа и др. При невозможности доформирования таких покрытий в местах их разрушения в процессе эксплуатации возникают «слабые места» в конструкции, что делает такие покрытия неконкурентными по сравнению с традиционными оксидными покрытиями.

Примером воздействия потока ТЖМТ на элементы конструкций лопастной системы насоса может служить разрушение рабочего колеса (ПЧ №3 НГТУ) на стенде ФТ-4 в НГТУ. В результате аварийного разрушения узла крепления приемного патрубка с внешним каналом (обечайкой) рабочего колеса насоса НСО-01 НГТУ произошло заклинивание рабочего колеса в этой обечайке с отклонением ее оси от оси вращения вала насоса на 3-5°. В течение ок. 30 ч рабочее колесо совместно с обечайкой вращались в деформированном потоке ТЖМТ в проточной части несоосно с осью вращения вала насоса. В результате этого участок рабочего колеса с внешней стороны относительно оси вращения вала насоса был существенно разрушен (рис. 6), тогда как участок рабочего колеса с внутренней стороны следов эрозионных повреждений не имел.

При испытаниях рабочих колес с оксидными и другими покрытиями в свинцовом теплоносителе при 440-500°C фиксировались разрушения выходных кромок лопаток, поверхностей лопаток (как правило, всасывающих), поверхностей ступицы.

Безусловно, очевидным способом предотвращения эрозионных разрушений элементов лопастных систем насоса, работающих в ТЖМТ, является создание такой геометрии проточной части, которая исключала бы отрыв потока и образование вихрей в межлопастном пространстве с интенсивностью, приводящей к разрушению поверхностей лопастной системы.

### Заключение

1. Особенности физических характеристик высокотемпературных свинцового и свинец-висмутового теплоносителей установок с реакторами на быстрых нейтронах делают непригодным использование традиционных методов расчета и оптимального проектирования ГЦН этих установок.

2. Проведенные экспериментальные исследования проточных частей насоса осевого типа с различным количеством плоских лопастей и с различными углами установки лопастей позволили провести комплексный анализ результатов исследований и сделать следующие выводы:

- угол установки лопасти очень сильно влияет на рабочие характеристики насоса, перекачивающего ТЖМТ;
- оптимальный угол установки лопастей, как показали исследования, лежит в диапазоне 20-30° - для четырехлопастной системы и 25-35° - для шестилопастной;
- большие или меньшие значения углов атаки рабочих лопастей осевого насоса приводят к ухудшению параметров насоса.

3. Проведенные в НГТУ исследования позволили определить кавитационные характеристики свинцового и свинец-висмутового теплоносителей применительно к условиям реакторов на быстрых нейтронах с этими теплоносителями, необходимые для обоснованного проектирования ГЦН реакторных контуров. Установлено, что контурам с ТЖМТ присуща так называемая газовая кавитация, а не традиционная паровая. Критическое давление в потоке, при котором начинается кавитация, составляет 0,3-0,6 кгс/см<sup>2</sup> (ата).

4. Основными уязвимыми местами для эрозионного износа являются выходные кромки лопаток и их всасывающие поверхности. Для борьбы с эрозионным износом используются оксидные покрытия, формирующиеся в потоке теплоносителя. Однако для минимизации разрушений необходимо создание геометрически оптимальных проточных частей, исключая отрыв потока от стенок и образование вихрей.

5. В результате выполнения комплексной программы экспериментальных и расчетно-теоретических исследований предполагается разработка обоснованных методик расчета и оптимального проектирования лопастных насосов, перекачивающих ТЖМТ.

#### Библиографический список

1. **Безносков, А.В.** Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике / А.В. Безносков, Ю.Г. Драгунов, В.И. Рачков. – М.: ИздАТ, 2006. – 370 с.
2. **Безносков, А.В.** Технологии и основное оборудование контуров реакторных установок, промышленных и исследовательских стендов со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями / А.В. Безносков, Т.А. Бокова, П.А. Боков. – Н.Новгород: Литера, 2016. – 488 с.
3. **Безносков, А.В.** Специфика циркуляционных насосов реакторных контуров со свинцовым и свинецвисмутовым теплоносителями / А.В. Безносков [и др.] // Изв. вузов. Ядерная энергетика. – 2009. – № 4. – С. 155–160.
4. **Безносков, А.В.** Особенности гидродинамики свинцового и свинцово-висмутового теплоносителей / А.В. Безносков [и др.] // Атомная энергия. – 2010. – Т. 109. – № 2. – С. 72–76.
5. **Безносков, А.В.** Экспериментальное исследование проточной части модели осевого главного циркуляционного насоса реакторной установки с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем / А.В. Безносков [и др.] // Вестник машиностроения. – 2014. – № 2. – С. 53–56.
6. **Безносков, А.В.** Исследование характеристик проточной части и подшипникового узла реакторной установки со свинцовым теплоносителем / А.В. Безносков [и др.] // Трение и износ. – 2014. – Т. 35. – № 4. – С. 489–493.
7. **Боков, П. А.** Исследование условий возникновения и характеристик кавитации в главных циркуляционных насосах реакторов на быстрых нейтронах, охлаждаемых ТЖМТ: дисс. ... канд. техн. наук, 2015. – 177 с.
8. **Безносков, А.В.** Экспериментальное исследование условий возникновения и характеристик газовой кавитации в потоке свинцового теплоносителя инновационных ядерных реакторов на быстрых нейтронах / А.В. Безносков [и др.] // Изв. вузов. Ядерная энергетика. – 2012. – № 2. – С. 85–94.
9. **Карелин, В.Я.** Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах / В.Я. Карелин. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 5–20, с. 57–79.

*Дата поступления  
в редакцию 26.01.2017*

**A.V. Beznosov, T. A. Bokova, A. D. Zudin, A. A. Kozlov, A. G. Belousov, O. O. Novozhilova**

#### **EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND TESTING OF PUMPS FOR PUMPING LEAD AND LEAD-BISMUTH COOLANT FOR NUCLEAR PLANTS**

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

**Purpose:** In NSTU carried out experimental and theoretical research aimed at the creation of methods of calculation axial flow pumps for HTML presented in this article.

**Design/methodology/approach:** In order to create an empirically grounded methodologies of design and analysis of flow parts of pumps for pumping heavy liquid metal coolants in Nizhny Novgorod state technical University was conducted the following experimental studies:

- studies of cavitation processes in lead and lead-bismuth coolants, it is determined the conditions of occurrence of cavitation and its characteristics;

- study of the effect of the angle of the vanes on the characteristics of the impeller of an axial pump;
- study the characteristics of centrifugal pumps.

**Findings :** In the result of implementation of the comprehensive program of experimental and theoretical studies it is intended to develop reasonable methods of calculation and optimal design of centrifugal pumps, pumping molten lead and lead-bismuth.

**Research limitations/implications**

- a. Features the physical characteristics of heavy liquid metal coolants make the use of traditional methods of calculation and optimal design of the main circulation pumps of these units.
- b. As a result of researches it is established that circuits with heavy liquid metal coolants characterized by the so-called gas cavitation, rather than the traditional steam. The critical pressure in the flow at which cavitation starts, is 0,3-0,6 (ATA).

**Originality/value:** Held at NSTU research focuses on experimental study of geometric characteristics of the flow parts of centrifugal pumps, pumping lead and lead-bismuth coolant with reference to reactor installations of the type BREST.

*Key words:* heavy liquid metal coolants, nasoloda, angle, justification, calculation methods.

УДК 621.039

С.М. Дмитриев<sup>1</sup>, А.А. Добров<sup>1</sup>, Г.Ш. Иксанова<sup>2</sup>, К.А. Мартынова<sup>1</sup>, А.Е. Хробостов<sup>1</sup>**РАСЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ВО ВХОДНОМ УЧАСТКЕ ТВС РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ РИТМ-200**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
АО «ОКБМ Африкантов» (г. Нижний Новгород)<sup>2</sup>

Приведены результаты численного моделирования гидродинамических процессов, протекающих во входном участке модели ТВС реактора РИТМ-200. Получены значения относительных осевых скоростей в нескольких сечениях на входе в пучок твэлов, а также величина коэффициента гидравлического сопротивления всего входного участка модели ТВС.

*Ключевые слова:* ядерный реактор, тепловыделяющая сборка, хвостовик ТВС, гидродинамика теплоносителя.

**Введение**

Особенностью установки РИТМ-200, разработанной в АО «ОКБМ Африкантов» для универсального атомного ледокола, является инновационная активная зона кассетного типа. Кассетная ТВС отличается от ТВС канальных ледокольных активных зон и ТВС ВВЭР конструкцией и структурой. ТВС заключены в шестигранные чехлы, внутри которых размещены центральный вытеснитель с поглощающим стержнем СУЗ, пучок твэлов и стержни с выгорающим поглотителем [1-2].

Конструктивные особенности ТВС кассетной активной зоны обусловили необходимость определения отдельных важных гидродинамических характеристик, в частности, коэффициентов гидравлического сопротивления элементов кассеты и исследование влияния конструкции входного участка на распределение расхода теплоносителя на входе в пучок твэлов.

В НГТУ на аэродинамическом стенде ФТ-50 [3] были проведены подобные исследования на увеличенной модели входного участка ТВС. Однако в связи с внедрением программ вычислительной гидродинамики (CFD) в практику теплогидравлических расчетов активных зон ядерных реакторов [4-7] авторами данной работы была предпринята попытка проведения численного моделирования процессов локальной гидродинамики потока теплоносителя во фрагменте тепловыделяющей сборки реактора РИТМ-200 с использованием CFD-программы Ansys CFX. Результаты расчетов сравнивались с данными, полученными в процессе экспериментального исследования, с целью оценки применимости выбранной модели и использованных настроек программы к проведению подобных исследований.

**Описание расчётной модели входного участка ТВС**

Расчётная модель кассетной ТВС, построенная в том же масштабе, что и экспериментальная модель, включала входной участок и фрагмент активной части ТВС до первой дистанционирующей решётки. При этом в силу условий симметрии рассматривалась половина указанной конструкции, полученная рассечением её плоскостью вдоль центральной оси.

В состав входного участка модели входили: цилиндрический хвостовик, дроссельная шайба, устройство фиксации ТВС в нижней плите реактора и диффузор, служащий элементом перехода из круглого сечения хвостовика в шестигранное сечение пучка твэлов.

Для проведения расчётного исследования была сгенерирована автоматическая расчётная сетка. При этом в области входного участка была использована тетраэдральная сетка с

призматическими пристеночными элементами, которая затем вытягивалась вдоль фрагмента активной части тепловыделяющей сборки. Размер сеточных элементов для отдельных областей модели был различным и выбирался из условий равенства его  $1/20$  гидравлического диаметра конкретной области (сечения) со сгущением сетки для описания более мелких деталей геометрии. В пристенной области высота призм подбиралась из условия равенства безразмерного расстояния от стенки  $y^+ 1 \div 5$ . Сетка такого качества соответствует требованиям RANS-моделей турбулентности и моделей рейнольдсовых напряжений, вычисляющих значение переменных в пограничном слое. На рис. 1 представлен общий вид расчетной сетки, содержащий  $\sim 22$  млн сеточных элементов.

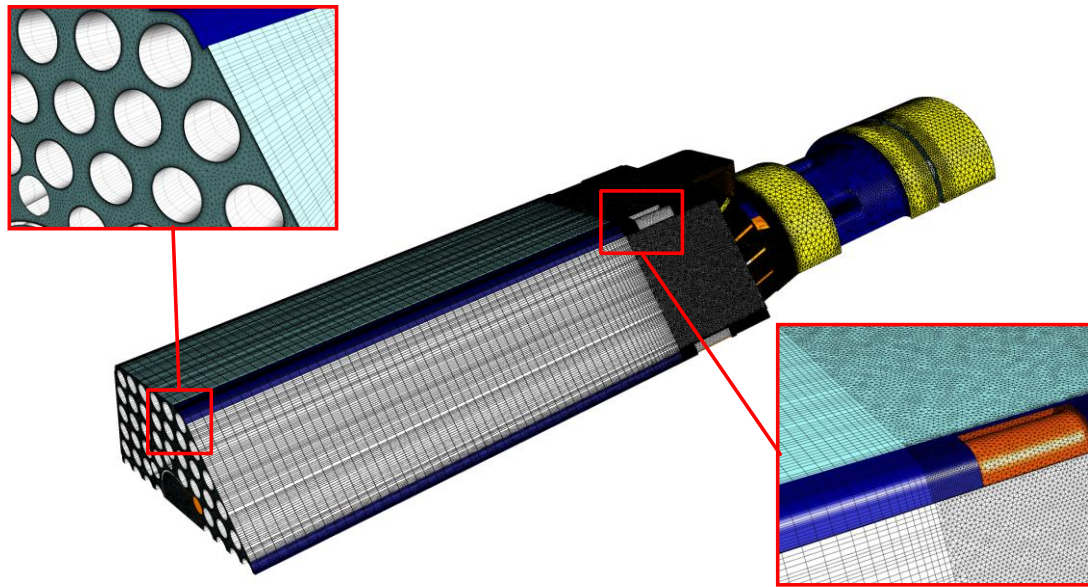


Рис. 1. Расчётная сеточная модель

### Методика проведения расчётного исследования

Методика проведения численного моделирования гидродинамических процессов во входном участке ТВС реактора РИТМ-200 была разработана при условии соответствия параметров расчёта параметрам эксперимента, а именно:

- 1) среднерасходная скорость рабочей среды (воздуха) на входе соответствует числу Рейнольдса 61000, определенного по сечению активной части;
- 2) температура 25 °С (нагрев имитаторов твэлов отсутствовал);
- 3) абсолютное давление на выходе из модели 101,325 кПа;
- 4) свойства рабочей среды, соответствующие заданным температуре и давлению.

Для замыкания системы уравнений Навье-Стокса в качестве моделей турбулентности были выбраны: модель переноса касательных напряжений ( $k-\omega$  SST), автоматически переключающая способ построения пристеночной функции в зависимости от величины параметра  $y^+$ ; модель рейнольдсовых напряжений (BSL-RSM), позволяющая учесть анизотропию турбулентности, которая может быть обусловлена сложной конструкцией входного участка модели ТВС.

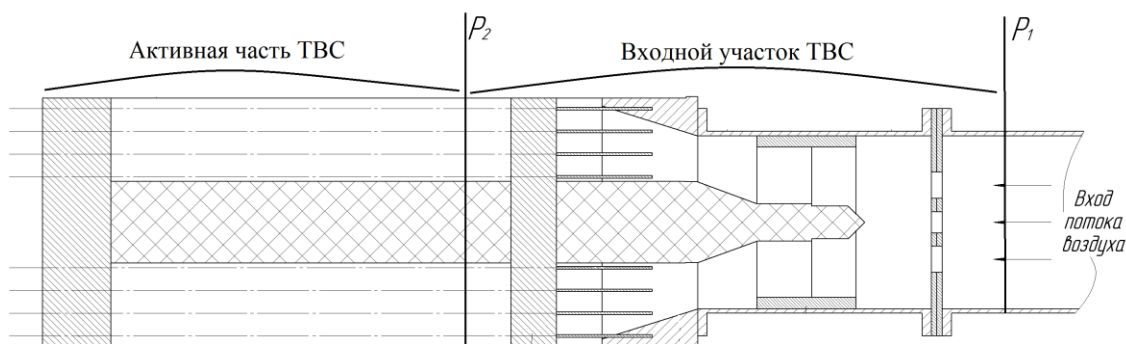
Величина коэффициента гидравлического сопротивления (КГС) рассматриваемого участка, отнесенная к сечению активной части, определялась следующим образом:

$$\xi_{\text{вх.уч}} = \frac{2\Delta P_{\text{вх.уч}}^{\text{tot}}}{\rho w_{\text{ач}}^2}, \quad (1)$$

где  $\xi_{\text{вх.уч}}$  – КГС входного участка;  $\Delta P_{\text{вх.уч}}^{\text{tot}}$  – потери полного давления при прохождении входного участка ТВС, Па;  $w_{\text{ач}}$  – среднерасходная скорость, определенная в сечении пучка твэл, м/с;  $\rho$  – плотность рабочей среды, кг/м<sup>3</sup>.

$$\Delta p_{\text{вх.уч}}^{\text{tot}} = \left( P_1 + \frac{\rho w_{\text{вх}}^2}{2} \right) - \left( P_2 + \frac{\rho w_{\text{вч}}^2}{2} \right), \quad (2)$$

где  $P_1$  – статическое давление, определенное во входном сечении 1 (рис. 2) расчётной модели, Па;  $P_2$  – статическое давление, определенное в сечении 2, расположенном на входе в активную часть ТВС, Па;  $w_{\text{вх}}$  – среднерасходная скорость, определенная во входном сечении 1, м/с;



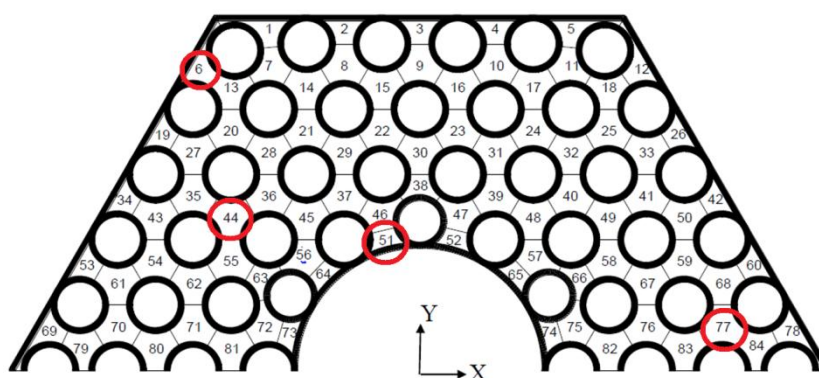
**Рис. 2. Схема расположения сечений измерения статического давления по длине расчётной модели**

### Результаты исследований

В результате численных исследований было смоделировано течение потока теплоносителя во входном участке ТВС РИТМ-200 и получены данные о распределении аксиальной скорости в различных сечениях твэльного пучка, а также вычислен коэффициент гидравлического сопротивления входного участка.

Для учёта неравномерности распределения профиля скорости теплоносителя по поперечному сечению, а также возможности переноса полученных результатов на натурные условия работы штатной ТВС полученные данные целесообразно представить в виде относительных значений скорости, определяемых как отношение абсолютного значения осевой составляющей скорости в точке  $w_{\text{абс}}$  к среднерасходной скорости в данном сечении  $w_{\text{вч}}$  :

$$w_{\text{отн}} = \frac{w_{\text{абс}}}{w_{\text{вч}}}. \quad (3)$$

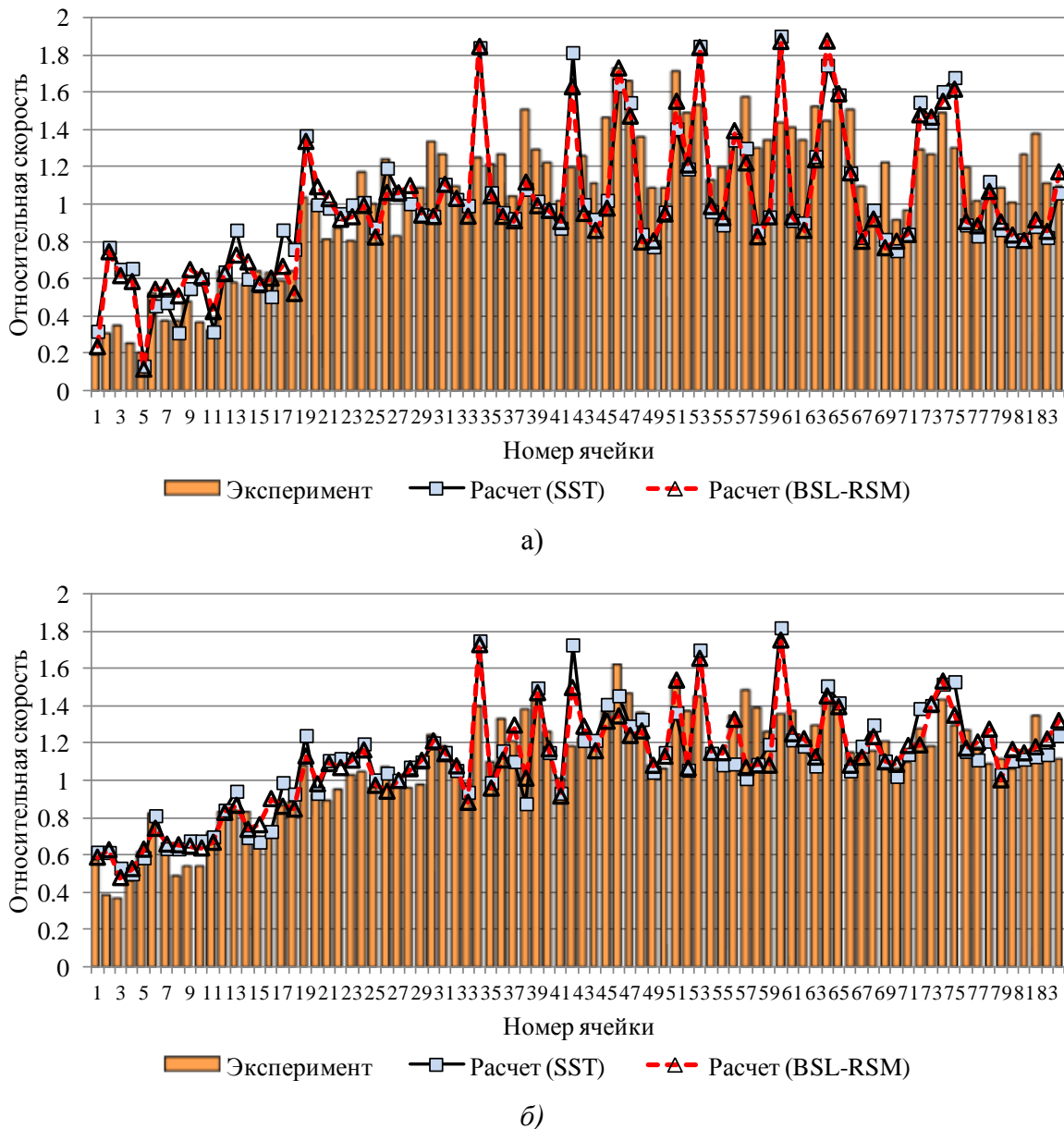


**Рис. 3. Схема разбиения поперечного сечения расчётной модели на ячейки:**  
**О** - ячейки, выбранные для исследования изменения аксиальной скорости по высоте ТВС

Количественное сравнение расчетных значений относительной скорости проводилось для точек, расположенных в центрах условных ячеек поперечного сечения активной части ТВС. Схема разбиения сечения на ячейки представлена на рис. 3. Результаты расчета по обеим моделям турбулентности приведены на рис. 4. На рис. 4 даны значения относительной скорости в центрах ячеек ТВС, полученные в результате численного моделирования и в результате экспе-



риментального исследования для нескольких поперечных сечений активной части ТВС. На схеме отмечены ячейки, для которых на рис. 5 приведены графики распределения относительной скорости по длине твэльного пучка до первой дистанционирующей решетки.



**Рис. 4. Распределение относительной аксиальной скорости:**

а – сечение, расположенное на входе в твэльный пучок;

б – сечение, расположенное перед первой дистанционирующей решеткой

Комплексный анализ полученных результатов расчетного исследования продольной составляющей вектора скорости по длине пучка имитаторов твэлов модели ТВС позволил определить основные закономерности течения потока теплоносителя. На входе в твэльный пучок поле осевой скорости теплоносителя неоднородно, что обусловлено сложной геометрией проточной части входного участка ТВС. Максимальные расчетные значения относительной скорости в отдельных ячейках достигают величины 1,8. В эксперименте таких значений не наблюдалось, и максимум относительной скорости составлял 1,55. Следует отметить, что основное расхождение расчета с экспериментом приходится на ячейки, расположенные по периферии сечения ТВС вблизи шестигранного чехла. Такое отличие может быть обусловлено значительным влиянием близко расположенной стенки на показания измерительного зонда в эксперименте, что будет учтено в дальнейших исследованиях.



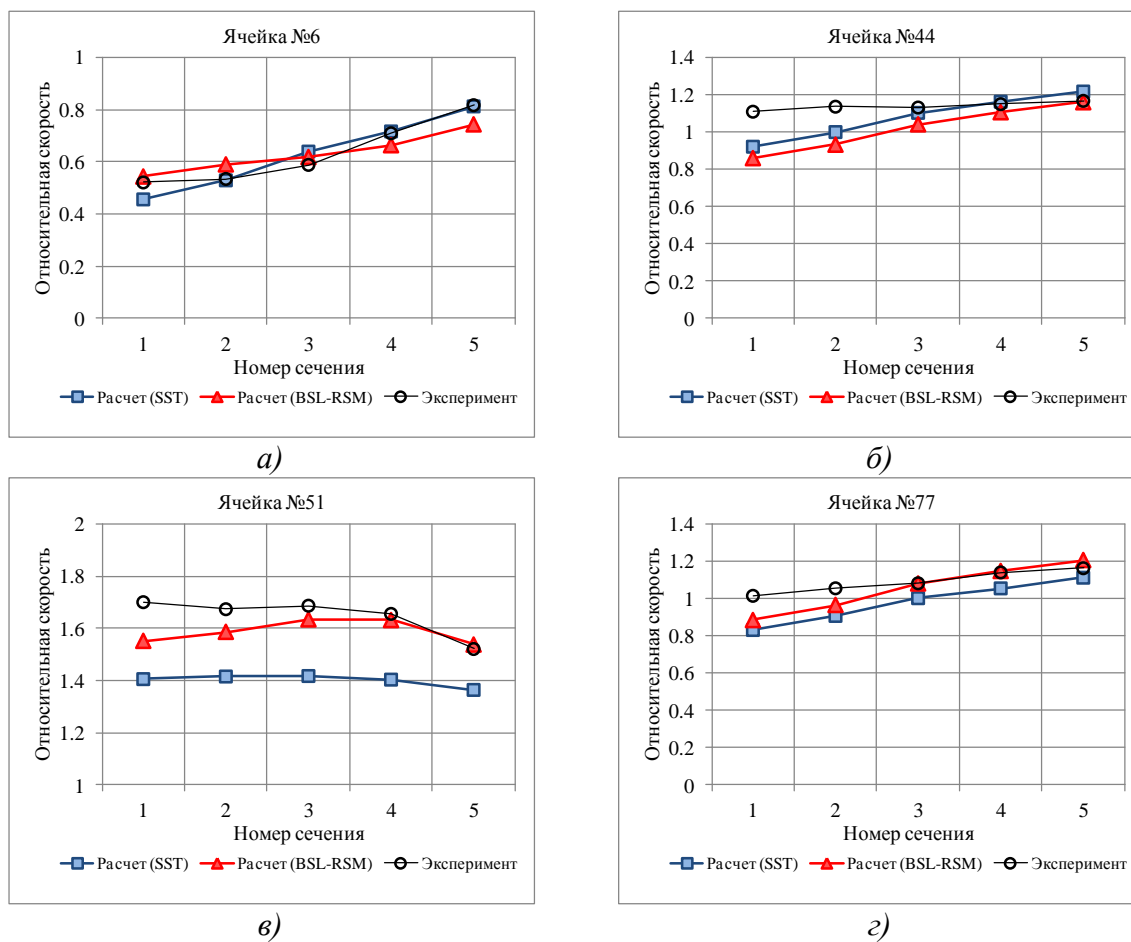


Рис. 5. Графики изменения относительной аксиальной скорости по высоте фрагмента ТВС: а – ячейка № 6; б – ячейка № 44; в – ячейка № 51; г – ячейка № 77

Анализ влияния выбранной модели турбулентности на результаты расчета показал, что с качественной и количественной точки зрения модель рейнольдсовых напряжений BSL-RSM имеет незначительное преимущество перед SST моделью, однако требует больших вычислительных затрат и имеет худшую сходимость.

Результаты определения КГС модели входного участка с использованием CFD-программы сведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные значения КГС модели входного участка ТВС

Параметры	SST-модель	BSL-RSM	Эксперимент
Значение КГС	11,75	11,63	11,9
Расхождение с экспериментом	-1,26%	-2,27%	±4% (погрешность эксперимента)

### Заключение

Проведено численное моделирование процесса течения теплоносителя во входном участке ТВС РИТМ-200, исследовано поле аксиальной скорости на входе в твэльный пучок до первой дистанционирующей решетки, а также определён коэффициент гидравлического сопротивления рассматриваемой области. Полученные данные сравнивались с результатами экспериментального исследования. Среднеквадратичное отклонение относительной скорости от эксперимента, определенное по всем 84 ячейкам выходного сечения модели, составило 15,9% для SST-модели турбулентности и 14,6% для BSL-RSM модели. Основное расхождение расчета с экспериментом приходится на ячейки, расположенные по периферии сечения ТВС вблизи шестигранного чехла.

Расхождение расчетных и экспериментальных значений общего КГС входного участка составило не более 2,3% для обеих моделей турбулентности, что меньше экспериментальной погрешности измерений.

Результаты компьютерного моделирования, проведенного в данной работе, могут быть использованы для формирования входных граничных условий для программ поячейкового расчета активной зоны реактора РИТМ-200 с целью учета неравномерности расхода теплоносителя по ячейкам на входе в твэльный пучок, обусловленного конструкцией входного участка ТВС.

#### Библиографический список

1. **Вешняков, К.Б.** Проектные решения реакторной установки РИТМ-200, предназначенной обеспечить экологически безопасную и экономически эффективную эксплуатацию универсального атомного ледокола на арктических трассах / К. Б. Вешняков [и др.] // Арктика: экология и экономика. – 2014. – №3(15). – С. 86–91.
2. **Самойлов, О.Б.** Исследование распределения потоков тепловых и эпитепловых нейтронов в ТВС универсального атомного ледокола / О.Б. Самойлов [и др.] // Атомная энергия. – 2016. Т.121. – №6. – С. 307–313.
3. **Бородин, С.С.** Расчетно-экспериментальные исследования локальных гидродинамических и массообменных характеристик потока теплоносителя в ТВСА реакторов ВВЭР с перемешивающими решетками / С.С. Бородин [и др.] // Тепловые процессы в технике – 2015. – № 4. – С. 177–182.
4. **Добров, А.А.** Применение современных CFD-кодов для моделирования теплогидравлических процессов в ТВ-КВАДРАТ реактора PWR / А.А. Добров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2016.– № 3. – С. 55–63.
5. **Носков, А.С.** Применение CFD кода для анализа эффективности смесительных дефлекторов решеток ТВС / А.С. Носков, А.А. Фальков, Д.Л. Шипов // Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР: сб. трудов, 2013. – 253 с.
6. **Дмитриев, С.М.** Моделирование течения потока теплоносителя в топливной сборке реактора плавучей АЭС с использованием CFD-программы ЛОГОС / С.М. Дмитриев [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 88. – № 5. – С. 1253–1259.
7. **Дмитриев, С.М.** Применение программы ЛОГОС для исследования особенностей гидродинамики в тепловыделяющей сборке реактора КЛТ-40С / С.М. Дмитриев [и др.] // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – Т. 57. – № 3.2. – С. 232–236.

*Дата поступления  
в редакцию 02.02.2017*

**S.M. Dmitriev<sup>1</sup>, A.A. Dobrov<sup>1</sup>, G.Sh. Iksanova<sup>2</sup>, K.A. Martynova<sup>1</sup>, A.E. Khrobostov<sup>1</sup>**

#### **NUMERICAL STUDY OF COOLANT HYDRODYNAMICS IN INLET NOZZLE OF RITM-200 NUCLEAR REACTOR FUEL ASSEMBLY**

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

**Purpose:** Numerical simulation of coolant flow in inlet nozzle of RITM-200 fuel assembly using CFD-program Ansys CFX.

**Design/methodology/approach:** Computational domain is a fragment of RITM-200 fuel assembly, which consists of inlet nozzle, hexagonal case and fuel rods simulators.

**Results:** As a result, the distribution of axial velocity of coolant behind inlet nozzle was received. Pressure drop and hydraulic resistance coefficient were calculated. These data were compared with the experimental results.

*Key words:* nuclear reactor, fuel assembly, inlet nozzle, coolant hydrodynamics.

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ: ТЕОРИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621

С.В. Кириков, О.Б. Бердник, И.Н. Царёва

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ИЗ СПЛАВА ЭП800ВД МЕТОДАМИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОЙ ФАЗЫ

Институт проблем машиностроения РАН (г. Нижний Новгород)

Проведен комплексный анализ состояния материала рабочей лопатки из сплава ЭП800ВД после эксплуатации и восстановительной термической обработки. Установлено, что деградация механических свойств материала связана с процессами коагуляции и растворения упрочняющей интерметаллидной фазы. Показано, что своевременная восстановительная термическая обработка приводит к перераспределению частиц упрочняющих фаз и выравниванию их размеров, что, в свою очередь, благоприятно влияет на механические свойства материала.

*Ключевые слова:* лопатки турбин, жаропрочный никелевый сплав, легирующие элементы, интерметаллидная фаза, механические свойства, релаксация.

### Введение

Рабочие лопатки 1-й ступени из сплава ЭП800ВД ротора турбины агрегата ГТЭ-45-3 работают в жестких условиях совместного воздействия на них высоких температур в газовой среде (~ 800°C) и рабочих напряжений (~100 МПа) [1].

Согласно регламенту, разработанному изготовителем, назначенный ресурс работы стационарных газотурбинных установок (ГТУ) – 100 000 часов. Для базовых деталей, к которым относятся рабочие лопатки турбин, срок службы составляет не менее ресурса между капитальными ремонтами или кратный ему, следовательно, не менее 25 000 ч [2].

При техническом осмотре в процессе эксплуатации (14 000 ч) на рабочих лопатках 1-й ступени были выявлены разрушения выходной кромки. Этот дефект характерен для данного типа лопаток, так как выходная кромка является наиболее нагруженной из-за одновременного воздействия высоких температур и газового потока, но это, как правило, должно проявляться на более поздних сроках эксплуатации.

Так как исследуемые лопатки не отработали назначенный ресурс, то для установления причин их разрушения был проведен анализ структурного состояния материала и рассмотрены возможные варианты восстановления его работоспособности.

Целью работы являлась количественная оценка параметров микроструктуры сплава в разных термонагруженных зонах лопатки для установления работоспособности материала (для определения возможности регенерации структуры и ремонтпригодности).

### Методика исследований

Рабочие лопатки 1-й ступени ротора турбины ГТЭ-45-3 изготавливают методом горячей штамповки из жаропрочного никелевого сплава ЭП800ВД (ХН65КМВЮБ), имеющего следующий химический состав (табл. 1).

Таблица 1

## Химический состав сплава ЭП800ВД

C	S	Mn	Cr	Co	Mo	W	Al	Fe	Nb	Ni
0,05	0,4	0,5	13,5	10,5	6,0	6,0	4,9	3,0	2,0	осн

Средняя объёмная доля интерметаллидной фазы в сплаве составляет ~ 40 % и может варьироваться в зависимости от состояния материала на разных стадиях наработки. Сплав ЭП800ВД выплавляют в открытых индукционных печах с последующим вакуумно-дуговым переплавом. Физические свойства сплава ЭП800ВД представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Физические свойства сплава ЭП800ВД

Температура испытания, °С	20	500	700	800
Модуль нормальной упругости E, ГПа	230	190	174	165
Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С)	12,7	17,2	23,6	27,2
Коэффициент линейного расширения ( $\alpha$ , $10^{-6} 1/°C$ )	-	13,0	14,0	14,3
Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$8,8 \cdot 10^{-3}$	-	-	-

Микроскопический анализ проводили с помощью оптического микроскопа «Неофот-32» и растрового электронного микроскопа «TESCAN VEGA II» на шлифах, изготовленных из перовой и замковой частей лопатки. Геометрические характеристики фаз рассчитывали с помощью программного обеспечения Good\_Phase.

Твердость (HV) материала лопатки в различных зонах измеряли ультразвуковым твердомером МЕТ-У1. Микротвердость измеряли на шлифах на микротвердомере ПМТ-3 по ГОСТ 9450-76 при нагрузке на индентор 2Н.

Механические испытания на ползучесть проводили на машине АТС. Сравнительный анализ результатов испытаний ползучести сплава ЭП800ВД к предъявляемым требованиям по данному показателю в соответствии с ТУ 108.02.125-87 ( $\sigma_{дл}=392$  МПа при времени до разрушения образца  $\tau > 100$  ч и температуре испытания 800 °С) проводили с помощью уравнения Ларсена-Миллера (1) [5].

$$T1(C + lg \tau1) = T2(C + lg \tau2). \quad (1)$$

## Результаты исследований

При визуально-оптическом осмотре выявлено локальное деформирование реборды со стороны входной кромки (рис. 1) и скол (высотой 33 мм, глубиной 10 мм) металла на выходной кромке перовой части лопатки. На рис. 1 видна сетка трещин, распространяющихся от зоны дефекта к центру пера лопатки. Установлено, что излом материала - крупнозернистый (камневидный) (рис. 2). Поверхность излома равномерно окислена, цветов побежалости не наблюдается. Поверхность перовой части со стороны «корыта» вблизи зоны разрушения более шероховатая.

Измерения твердости (HV) в разных зонах лопатки показали, что вблизи поврежденной зоны материал находится в упрочненном состоянии. После разрушения выходной кромки перовой части (предположительно в результате ударного воздействия) в зоне дефекта произошло образование сетки трещин. После зарождения трещины ее вершина становится острым концентратором напряжений, вследствие чего в этой зоне происходит пластическая деформация, которая вызывает деформационное упрочнение материала и, как следствие,

снижение его пластических свойств [4]. Также были проведены измерения микротвердости на микрошлифах, вырезанных из трех зон: вблизи области разрушения на выходной кромке перовой части, из противоположного края (входная кромка) и из замковой части. Результаты измерений представлены в табл. 3. Твердость материала вокруг поврежденной зоны в 1,6 раз выше по сравнению с твердостью материала центральной зоны перовой и замковой частей.

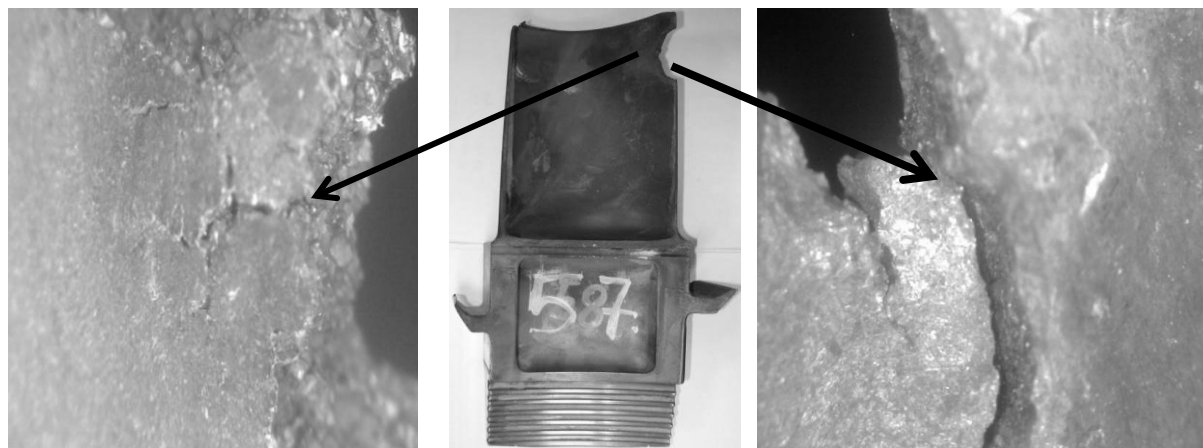


Рис. 1. Внешний вид рабочей лопатки из сплава ЭП800ВД после эксплуатации

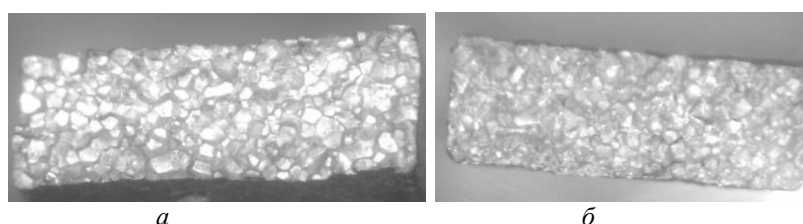


Рис. 2. Вид излома образцов:

*a* – образец из перовой части; *б* – образец из замковой части

Таблица 3

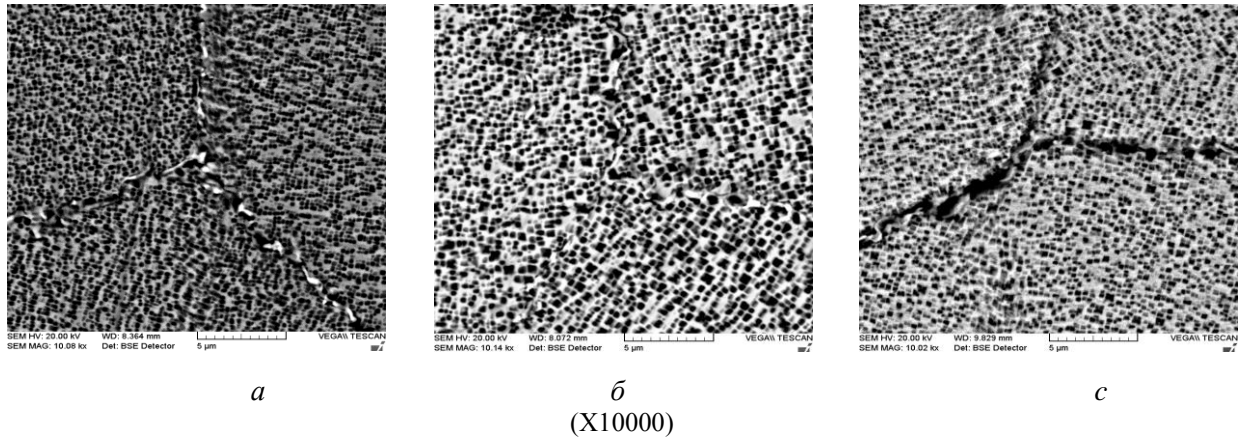
Результаты измерений твердости и микротвердости в разных зонах лопатки

Зона измерения	Твердость HV, ГПа	Микротвердость Н <sub>μ</sub> , ГПа
Выходная кромка вблизи дефекта	5,86	4,65 – 4,85
Центральная зона перовой части	3,22 («спинка») 3,53 («корыто»)	3,80
Замковая часть	3,60	3,53

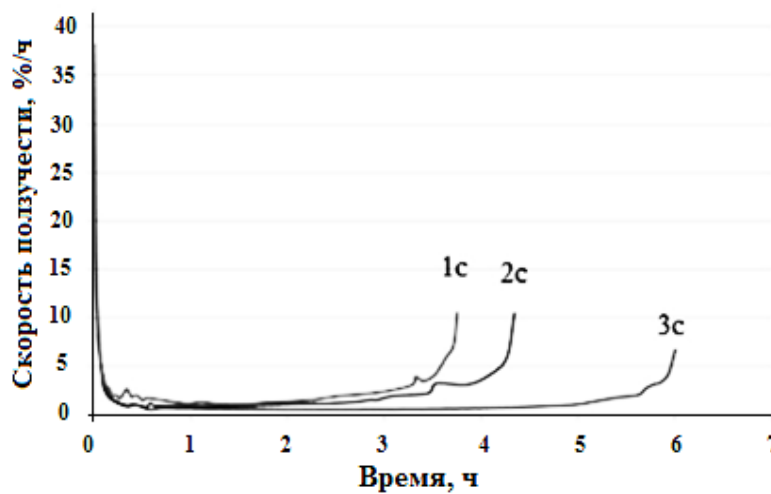
Исследования структуры сплава были проведены в трех зонах: 1 - выходная кромка перовой части вблизи поврежденной зоны; 2 – центральная зона перовой части лопатки; 3 - замковая часть лопатки. Фотографии микроструктуры представлены на рис. 3.

Анализ микроструктуры сплава во всех зонах показал, что материал - плотный, дефектов в виде пор и микротрещин не обнаружено. Границы  $\gamma$ -зерен - ровные, четкие и упрочнены выделениями карбидных фаз. Размер карбидных включений - до 1 мкм. На микроструктуре сплава с выходной кромки перовой части лопатки (рис. 3, *a*) наблюдается довыделение упрочняющей интерметаллидной фазы, среднее значение объемной доли которой составляет 49 %, а в некоторых полях зрения, непосредственно вблизи дефекта, её значение может достигать 60 %. Средний размер интерметаллидных включений в этой зоне равен 0,43 мкм (минимальное значение – 0,25 мкм, максимальное – 0,75 мкм). В зоне, расположенной

ближе к входной кромке (рис. 3, б), содержание интерметаллидной фазы составляет 40 %. Среднее значение размера интерметаллидных включений в этой зоне составляет 0,35 мкм (минимальное значение – 0,20 мкм, максимальное – 0,55 мкм). Количество упрочняющей интерметаллидной фазы в замковой части ~ 35 % (рис. 3, в). Среднее значение размера интерметаллидных включений в этой зоне составляет 0,28 мкм (минимальное значение – 0,14 мкм, максимальное – 0,44 мкм).



**Рис. 3. Микроструктура сплава ЭП800-ВД:**  
а – выходной кромки перовой части вблизи поврежденной зоны;  
б – центральной зоны перовой части лопатки; с – замковой части лопатки



**Рис. 4. Зависимость скорости ползучести от времени образцов из сплава ЭП800ВД:**  
1с и 2с – образцы из перовой части вблизи дефекта; 3с – образец из центральной зоны перовой части

По результатам проведенных испытаний на ползучесть образцы 1с и 2с, вырезанные из выходной кромки, разрушились после 3,8 ч (73,2 ч (пересчет по Ларсену-Миллеру -) и 4,3 ч (83,7 ч) соответственно, что ниже нормируемого значения - 5 ч (не менее 100 ч). Образец 3с, вырезанный из середины перовой части, выдержал до разрушения 6 ч (119,3 ч), что соответствует требованиям ТУ на данный сплав. По кривым ползучести были построены зависимости скорости ползучести от времени (рис. 4). Из графиков видно, что стадия установившейся ползучести на кривых для образцов 1с и 2с (вырезанных из перовой части вблизи поврежденной зоны) менее выражена, чем на кривой для образца 3с (середины перовой части) и составляет ~ 50 % от общего времени, против ~ 85 % для образца 3с. Можно предположить, что деградация структуры, проявляющаяся в увеличении неоднородности кон-

центрации и размера интерметаллидной фазы, в образцах 1с и 2с на стадии деформационного упрочнения (первая стадия старения) происходит более интенсивно, чем в образце 3с.

Для получения более однородного характера распределения упрочняющих фаз в перовой части рабочей лопатки на образцах, вырезанных из разных зон, была проведена восстановительная термическая обработка: ступенчатая закалка с температур 1160 °С и 950°С с последующим старением при 850 °С.

Анализ микроструктуры показал, что после термообработки произошло частичное растворение интерметаллидной фазы по всему объему лопатки, уменьшился разброс размеров частиц  $\gamma'$ -фазы. Наиболее значительное снижение микротвердости произошло на образце, вырезанном из выходной кромки (с 4,85 до 3,95 ГПа). Сравнение результатов анализа микроструктуры, микротвердости материала из разных зон после эксплуатации и после проведения восстановительной термообработки приведены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение основных характеристик микроструктуры и механических свойств сплава ЭП800ВД в разных зонах рабочей лопатки 1-й ступени

Зона анализа	После эксплуатации				После ВТО			
	Размер $\gamma'$ -фазы (разброс), мкм	Количество частиц на 100 мкм <sup>2</sup>	Объемная доля $\gamma'$ -фазы, %	H <sub>ц</sub> , ГПа	Размер $\gamma'$ -фазы, мкм	Количество частиц на 100 мкм <sup>2</sup>	Объемная доля $\gamma'$ -фазы, %	H <sub>ц</sub> , ГПа
Выходная кромка (перовая часть)	0,43 (0,25-0,75)	390	49	4,7	0,47 (0,42-0,55)	320	44	3,7
Центральная зона перовой части	0,35 (0,20-0,55)	430	40	3,8	0,35 (0,34-0,37)	340	31	3,6
Замковая часть	0,28 (0,14-0,44)	440	35	3,5	0,34 (0,32-0,37)	320	28	3,5

### Выводы

1. На основании результатов комплексного анализа постэксплуатационного состояния лопатки из сплава ЭП800ВД обнаружены изменения в микроструктуре материала вблизи дефекта на выходной кромке перовой части, проявляющиеся в увеличении размера частиц интерметаллидной фазы и обусловленные высокими термомеханическими нагрузками при эксплуатации.

2. По результатам испытаний на ползучесть установлено, что значение времени ползучести ( $\tau$ ) материала вблизи дефекта в 1,3 раза ниже минимально допустимого уровня для данного сплава. Данный факт может быть обусловлен неоднородным распределением скоплений частиц интерметаллидной  $\gamma'$ -фазы.

3. Материал средней части пера имеет кондиционную микроструктуру и показатели механических свойств, соответствующие требованиям ТУ на данный сплав.

4. Восстановительная термообработка приводит к перераспределению упрочняющих фаз и выравниванию размеров частиц. При этом сохраняется неоднородность концентрации  $\gamma'$ -фазы по телу лопатки. Данный факт свидетельствует о необходимости своевременного от-

слеживания стадии эксплуатации изделия, когда проведение восстановительной термообработки целесообразно, пока процессы деградации не приобрели необратимый характер.

5. Рабочая лопатка 1-й ступени ГТЭ-45-3 с фактической наработкой 14 000 ч имеет недопустимый для дальнейшей эксплуатации характер повреждений материала на выходной кромке пера, и дальнейшая эксплуатация данной детали невозможна.

#### Библиографический список

1. Марочник сталей и сплавов / А.С. Зубченко [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
2. **Москвитин, В.В.** Пластичность при переменных нагружениях / В.В. Москвитин. – М.: МГУ, 1965. – 203 с.
3. Теория ползучести и длительной прочности металлов / И.А. Одинг [и др.]. – М.: Metallurgia, 1959. – 270 с.

*Дата поступления  
в редакцию 19.01.2016*

**S.V. Kirikov, O.B. Berdник, I.N. Tsareva**

#### **DETERMINING THE HEALTH OF THE ALLOY MATERIAL OF ROTOR BLADES EP800VD METHODS OF QUANTITATIVE EVALUATION OF MORPHOLOGICAL PARAMETERS OF INTERMETALLIC PHASES**

Institute of problems of mechanical engineering Russian Academy of Sciences  
(Nizhny Novgorod)

The complex analysis of a material condition of the working shovel from EP800VD alloy after operation and the reduction heat treatment is carried out. It is established that degradation of mechanical characteristics of material is bound to processes of coagulation and dissolution of the strengthening intermetallic phase. It is shown that the well-timed reduction heat treatment leads to redistribution of particles of the strengthening phases and alignment of their sizes that in turn, favorably influences mechanical characteristics of material.

*Key words:* shovels of turbines, high-temperature nickel alloy, alloying elements, intermetallic phase, mechanical characteristics, relaxation.



УДК 62-503.56

А.А. Нефёдов, Д.Н. Фазлиев, О.В. Кретинин

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕГРАЦИИ PDM/CAM СИСТЕМ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Цель статьи – показать актуальность проблемы интеграции различных информационных систем в производственных условиях. Дана подробная характеристика САМ/PDM-систем с рассмотрением вариантов их взаимодействия друг с другом. Приведём сравнительный анализ этих вариантов.

*Ключевые слова:* САМ/PDM – системы, процесс интеграции, API интерфейс, модули расширения, используемые форматы.

В настоящее время во всём мире наблюдается бурное развитие информационных технологий. За последние годы развития этой области было создано огромное количество программ, большинство из которых до сих пор играет важную роль в информационном обеспечении процессов, происходящих как в мелких, так и крупных предприятиях.

Задачи интеграции возникают в случае внедрения в компании новых информационных систем или добавления в существующие новой функциональности. В случае успешной реализации интеграции результат, как правило, остается незаметен – новая система/функциональность работает, данные передаются и все отлично! Но в случае, если взаимодействие между системами не реализовано, это влияет на сроки и качество всего проекта.

Основываясь на опыте людей, осуществлявших интеграцию различных информационных систем, уместно привести ряд проблем (качество данных, организационные трудности, технические трудности), которые возникают в ходе решения задач интеграции.

**Обзор информационных систем**

На современном производстве распространена проблема передачи данных из САМ системы (Computer-aided manufacturing) в PDM-систему (ProductDataManagement). Рассмотрим особенности каждой из этих систем.

САМ-системы представляют собой набор решений для задач технологической подготовки производства. В настоящее время данные системы используются во многих отраслях промышленности и в большинстве компаний стали стандартным решением автоматизации процессов технологической подготовки производства.

Наиболее популярной и продвинутой из этих систем является система NX. Данная система базируется на геометрическом ядре Parasolid от компании Siemens PLM Software и представляет собой совокупность приложений, разделенных по направлениям представленным на рис. 1. NX САМ – средства автоматизации создания программ для станков ЧПУ, управления библиотеками инструментов, настройки постпроцессоров и симуляции обработки на основе созданной программы. Основной формат системы NX .prt.

Использование единой платформы для различных приложений позволяет оптимизировать потоки данных, передаваемые между специалистами, и избежать ненужных процессов передачи информации из одной системы в другую. Модель, разработанная в других приложениях системы NX, используется в качестве основы для работы в приложении NX САМ. При этом обеспечивается концепция работы с использованием мастер-модели. Это означает, что исходная модель является источником данных для потребителей, но при этом они работают с её ассоциативно связанной копией. С одной стороны, это дает возможность обеспечить сохранность модели, а с другой – позволяет потребителям контролировать все изменения, которые производятся с моделью. Данная система может использовать возможности

API(Application Programming Interface) интерфейса, позволяющие подключать свои собственные модули расширения в формате exe(executable).

NX CAM имеет богатый набор встроенных средств автоматизации – от мастеров и шаблонов до возможностей программирования обработки типовых конструктивных элементов.

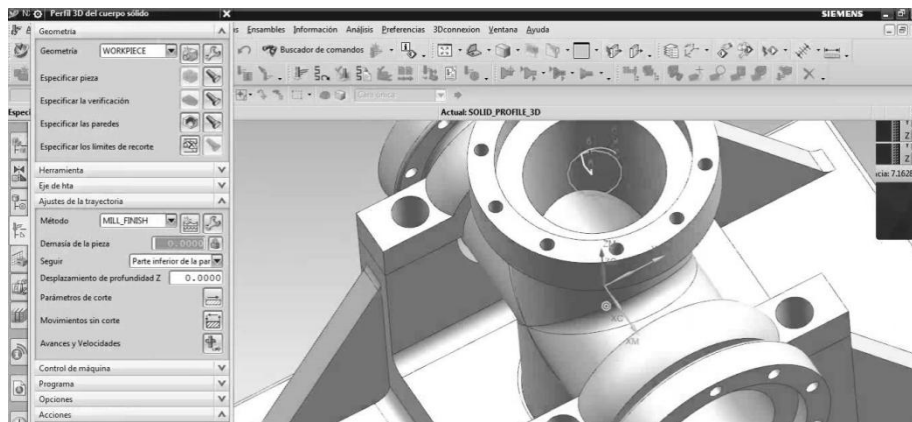


Рис. 1. 3Dмодель детали в системе NX

Генератор программ ЧПУ включает в себя различные варианты обработки, предназначенные для создания программ с минимальным участием человека.

Концепция мастер-модели является основой, на которой строится распределение данных между модулем проектирования и остальными модулями NX. Ассоциативная связь между исходной параметрической моделью и сформированной траекторией инструмента делает процесс обновления траектории быстрым и лёгким.

Для запуска управляющей программы на конкретном станке, необходимо её преобразовать в машинные коды определённого станка. Это делается с помощью постпроцессора. В системе NX существует специальный модуль, позволяющий настроить постпроцессор для любых управляющих стоек и станков с ЧПУ. Основные настройки выполняются без программирования, однако возможно подключение специальных процедур на языке Tcl, что открывает большие возможности по внесению в постпроцессор любых необходимых изменений.

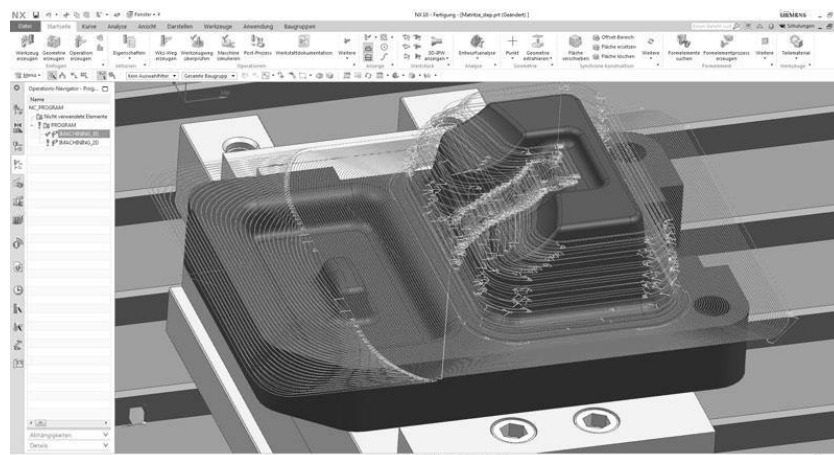


Рис. 2. Симуляция обработки в системе NX

Перейдём к описанию PDM-систем. Данные системы обеспечивают управление всей информацией об изделии. Основные возможности PDM-систем представлены в следующих направлениях:

- организация хранения данных и управление документами;
- управление разработкой изделия и контроль процессов по его реализации;

- манипулирование структурой изделия;
- управление структурой продукта;
- автоматизация потока данных и параметров изделия;
- подготовка отчётов в соответствии с требованиями предприятия;
- механизм авторизации.

Благодаря таким системам происходит отслеживание больших массивов данных и различной инженерно-технической информации, которые необходимы на этапах проектирования, производства, эксплуатации, поддержки и утилизации изделий. Такие данные, относящиеся к конкретному изделию и организованные PDM-системой, называются цифровым макетом. PDM-системы объединяют информацию разных форматов и типов, которая доходит до конкретного пользователя уже в структурированном виде (эта структура определяется требованиями конкретного предприятия). PDM-системы работают не только с текстовыми документами, но и с чертежами и 3D моделями, а также с данными, необходимыми для функционирования различного производственного оборудования (гибких автоматических линий, станков с ЧПУ, промышленных роботов и т.д.). Доступ к таким данным обеспечивается из используемой PDM-системы.

В первую очередь системы данного типа применяют для хранения данных об изделиях, выпускаемых на предприятии. Подобные системы нашли широкое применение на предприятиях машиностроительной, приборостроительной, судостроительной, авиационной промышленности и т.д. PDM-системы очень удобно использовать при массовом производстве, так как состав изделия, технология разработки и весь комплект документации хранятся в единой информационной базе и разрабатывать их заново не требуется. А при заказном производстве удобство достигается быстрой проработкой структуры изделия.

Примером PDM-системы может служить система Teamcenter компании Siemens PLM Software – представляет собой систему высокого уровня, предназначенную для управления инженерными данными и различными производственными процессами на протяжении всего жизненного цикла изделия. Teamcenter является основой для создания единой информационной системы управления предприятием или группы нескольких удаленных друг от друга предприятий.



Рис. 3. Сферы влияния системы Teamcenter

На этапе, предшествующем процессу разработки, система Teamcenter позволяет собирать, структурировать и управлять всеми функциональными требованиями к выпускаемому

изделию (как требуется) и другой документацией. После чего на этапах конструкторско-технологической подготовки система Teamcenter позволяет обеспечить управление 3D моделями, чертежами, конструкторскими спецификациями (как спроектировано), расчетными моделями, управляющими программами для станков с ЧПУ, технологическими спецификациями (как запланировано), производственными составами (как изготовлено), эксплуатационными составами (как сопровождается), данными, характеризующими проведение регламентных работ, а также эксплуатационными и многими другими документами.

Одной из наиболее популярной систем этого типа является система IPS (Intermech Professional Solutions) – комплексная информационная система последнего поколения, выпущенная компанией ИНТЕРМЕХ (разработчиком САПР машиностроения и приборостроения) (рис. 2). Система позволяет обеспечить единое информационное пространство на предприятии для работы с данными и их управлением на протяжении всего жизненного цикла продукции. Указанная система может работать со следующими форматами: .ipt (формат детали в Autodesk Inventor); .dwg (формат чертежа в Autodesk AutoCad); .sldprt (формат детали в SolidWorks); .prt (формат Siemens NX). Система IPS может использовать возможности API интерфейса, которые позволяют подключать свои собственные модули расширения в формате dll (Dynamic Link Library).

Система имеет логичный, комфортный и понятный интерфейс. Как уже отмечалось, объектная модель системы очень проста в использовании. Это достигается благодаря созданию любых объектов в системе и управлению ими в одной и той же рабочей области навигатора. Вся информация в окне навигатора структурирована. Пользователь сам может настроить стиль отображения, расположение окон, а также задать набор панелей инструментов и их состав.

Система IPS выполняет продолжительные операции (загрузка файлов, поиск информации, формирование отчетов, ведомостей и пр.) в фоновых потоках, что существенно экономит время пользователей и дает возможность более полно задействовать потенциал многоядерных архитектур.

В системе IPS имеется возможность переноса информации и обмена данными между другими базами. Это происходит за счет сохранения выбранных объектов и всей связанной с ними информации в промежуточные XML-файлы в одной базе и импортирования этих объектов в другую БД. Причем эта возможность позволяет обмениваться информацией не только между системами Intermech Professional Solutions, но и с подобными системами других разработчиков.

Все документы, ведомости и отчеты, созданные в системе IPS, сохраняются в формате XML, что также расширяет возможности обмена информацией с другими системами.

Все объекты, атрибуты и типы имеют глобальные идентификаторы, что позволяет однозначно определить информацию при работе с несколькими БД. Благодаря этому можно организовать работу территориально разделенных филиалов одного предприятия с собственной базой данных в каждом филиале (если соблюдается условие единства происхождения информации).

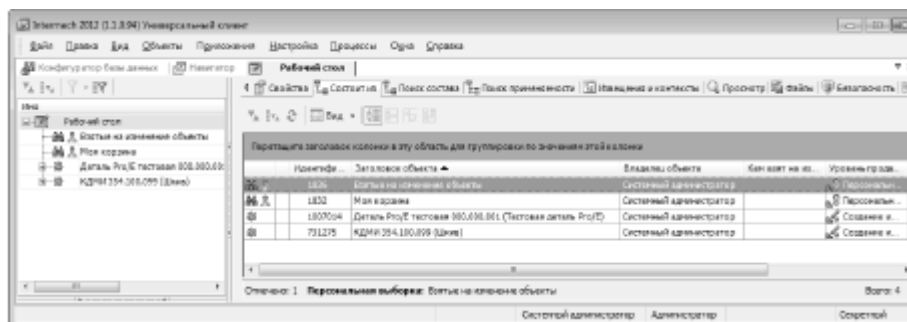


Рис. 4. Главное окно системы IPS

Система IPS ориентирована на средние и крупные предприятия машиностроительной и приборостроительной отраслей, так как подобные производства предъявляют высокие требования к электронному документообороту и ведению базы данных изготавливаемых и используемых на предприятии изделий. Структура этой системы дает возможность в короткие сроки подстраивать под себя существующие или добавлять новые функции для полного удовлетворения потребностей предприятия, а также подстраивать систему под требования предприятий других отраслей. IPS представляет собой обобщённую информационную систему управления инженерными данными и всем жизненным циклом изделий (PLM - Product Lifecycle Management).

Рассмотрев две эти системы, можно подвести итог в виде табл. 1.

Таблица 1

## Итоговый анализ двух информационных систем

Критерий сравнения	NX	IPS
Производитель	Siemens	Интермех
Основные читаемые форматы	.prt	.ipt, .dwg, .sldprt, .prt
Ядро системы	Prosolid	Ядро IPS
Присутствие API интерфейса	есть	есть
Модули расширения	.exe	.dll

На основе табл. 1 можно сделать вывод об изначальной несовместимости этих систем, поэтому для обеспечения взаимодействия данных систем необходимо разрабатывать механизм интеграции.

### Проблемы интеграции

Обычно при интеграции информационных систем встречаются повторяющиеся проблемы. Во первых, источники данных обладают различными свойствами, которые существенны для выбора методов интеграции данных, а также поддерживают представление данных в терминах определённой модели данных. Также источники данных могут быть представлены в виде статической или динамической структуры. Источники интегрируемых данных могут быть однородными или неоднородными относительно характеристик, которые определяются уровнем интеграции. На логическом уровне интеграции иногда имеет место неоднородность используемых моделей данных или неоднородность схем данных.

При интеграции данных возможны два подхода — виртуальное или актуальное (материализованное) представление интегрируемых данных. При использовании первого подхода происходит создание механизма доступа, который порождает данные в требуемом представлении непосредственно из исходных источников данных, если они запрашиваются самим пользователем. Материализованное представление интегрированных данных при этом не поддерживается. Виртуальный подход используется при применении обновляемых источников данных. При втором подходе во время интеграции формируется полное материализованное представление интегрированных данных, которое идёт отдельно от исходных источников и сосуществует с ними. Именно это представление данных используется для обработки пользовательских запросов.

Важно понимать, что при интеграции информационных систем происходит интеграция именно данных, и только потом техническая реализация канала, способа, формата их передачи. В связи с этим основной проблематикой, возникающей в процессе интеграции, является проблема качества передаваемых данных. Также обычно возникают организационные трудности и сложности технической реализаций данных процессов.

Основываясь на опыте людей, осуществлявших интеграцию различных информаци-

онных систем, уместно привести ряд вопросов (качество данных, организационные трудности, технические трудности), появляющихся в ходе решения задач интеграции.

Во вторых, неоднородность источников данных наблюдается в системах интеграции данных в различных формах. К примеру, различаются модели данных, схемы представления данных в разных источниках, физические представления данных, среды их представления (системы БД и ресурсы Web-сервера) и т. д.

В третьих, отсутствие качественных данных (приведенных к единому формату, недублирующихся, а также согласованных между собой) в информационных системах многих компаний является типичным и с этим приходится бороться всеми средствами. Как правило, при внедрении новых информационных систем на этот факт не обращают внимание, и в конце реализации определённого проекта компания получает еще одну систему со своим набором данных, которая слабо согласуется с данными других систем. В таких случаях при попытке интеграции несогласованность данных приводит к тому, что интеграция информационных систем есть, а интеграции данных, используемых в этих системах, нет. На выходе может даже получиться несколько наборов данных в одной системе, которые идентичны по сути, но разные по представлению (например, “физ. лицо” и “Физическое лицо”).

Задача согласованности данных решается с помощью системы управления мастер-данными (Master Data Management, MDM). Но на сегодняшний момент эти системы в России применяются редко, в виду этого задачи согласования данных и обеспечения их качества решаются во время процесса интеграции. Для этого разрабатываются бизнес-правила преобразования данных, создаются таблицы соответствия решения и т.п. Всё это в совокупности и является системой MDM для одного или нескольких интеграционных процессов.

Не рекомендуется решать задачи интеграции, миграции данных и задачи улучшения качества данных, дедубликации в рамках одного проекта. Иначе, прежде чем начинать разрабатывать бизнес-правила и таблицы соответствия, нужно изучить данные, провести их анализ путем профилирования. Благодаря профилированию можно получить информацию о содержании, качестве и структуре данных. Этот этап, предшествующий этапу проектирования процессов интеграции, часто игнорируется, что приводит к несогласованности данных в интегрируемых системах. Еще одной очень важной задачей профилирования данных является уменьшение множества передаваемых данных, так как в процессе анализа можно выявить дублирующиеся или ненужные для передачи данные.

Итак, к типичным проблемам интеграции, связанным с качеством данных, можно отнести:

1. Несогласованность данных, которые интегрируются из-за отсутствия в компании единой системы управления мастер-данными;
2. Игнорирование важности профилирования, анализа, а также очистки данных перед реализацией процессов интеграции.

По причине того, что процесс интеграции находится на стыке нескольких информационных систем, ответственность за работоспособность процессов интеграции и обеспечение требуемого качества данных, как правило, спорны и должны решаться в первую очередь. Для решения этих вопросов обычно используют следующее правило: сторона, заинтересованная в данных, должна выполнять всю основную работу по организации интеграции и ее дальнейшей поддержке.

### **Вывод**

Изложенное позволяет сделать вывод, что вопрос интеграции стоит остро, и острота его вряд ли уменьшится в ближайшие десятилетия. Именно поэтому в данной работе было решено уделить внимание этому направлению. В качестве объекта исследования были взяты две известные информационные системы, которые изначально не предназначены для совместной работы, это PDM-система IPS семейства Intermech и САМ система NX семейства Siemens.

Рассматриваемые системы можно объединить с помощью API интерфейса, имеющегося в обеих системах. Данный модуль позволяет пользователю реализовывать собственные решения исходя из правил API интерфейса. В результате использования данных возможностей можно получить два модуля расширения для каждой из информационных систем. Именно эти модули и позволят связать две изначально не приспособленных друг для друга системы. Это может быть реализовано на различных языках, например C# и Python. Написав модули расширения на одном из этих языков, можно добиться того, чтобы данные из одной системы автоматизированным способом попадали в другую.

#### Библиографический список

1. **Ведмидь, П.А.** Программирование обработки в NXCAM / П.А. Ведмидь, А.В. Сулинов. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 304 с.
2. **Тороп, Д.Н.** Teamcenter. Начало работы / Д.Н. Тороп, В.В. Терликов. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 280 с.
3. Intermech Professional Solution [Электронный ресурс]. – URL: [http://ips.intermech.ru/ips\\_product.htm](http://ips.intermech.ru/ips_product.htm)
4. **Норенков, И.П.** Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.

*Дата поступления  
в редакцию 26.01.2017*

**A. A. Nefedov, D. N. Fazliev, A. V. Kretinin**

#### THE STUDY OF INTEGRATION PDM/CAM SYSTEMS

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

**Purpose:**The work of this article is to show the relevance of the problem of integration of different information systems in a production environment. Detailed characteristics CAM/PDM-systems, with consideration of their interaction with each other. We present a comparative analysis of these options.

**Design/ methodology/ approach:**The overview of CAM/PDM-systems, examining their main characteristics affecting the implementation of the integration process.

**Findings:** The possibility of integration via API, which is available in both the information systems.

**Research limitation/ implications:** The use of this method will allow you to automate the process of interaction of two information systems that ultimately will enhance the user experience.

**Originality/value:**Original direction for the implementation of the mechanism of integration of two information systems: IPS and NX.

*Key words:* CAM/PDM – systems, process integration, API, modules, extensions, formats.

УДК 621.791.94

А.А. Москвичев, А.Р. Кварталов

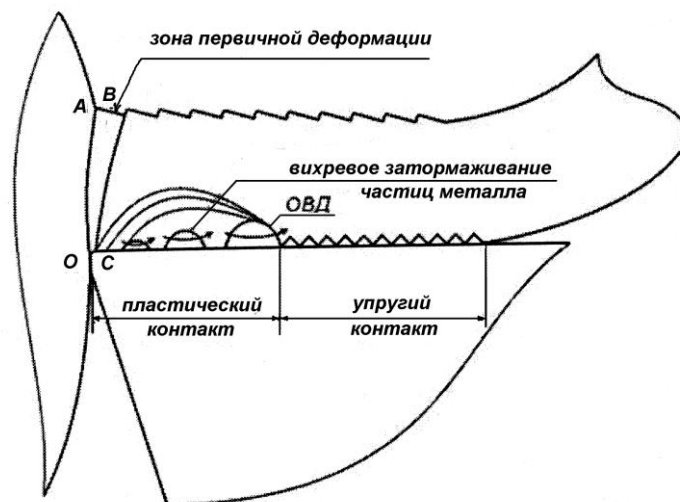
## УПРАВЛЕНИЕ КОНТАКТНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ СТРУЖКИ С РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается возможность влияния на зону контакта инструмента со стружкой путем возбуждения в СОЖ импульсного высокого давления. Приводятся результаты исследования влияния импульсного давления на характер стружкообразования при точении сталей. Проведен металлографический анализ полученных стружек для определения влияния импульсного давления СОЖ на контактные процессы и условия стружкообразования, описывается процесс напряженно-деформированного состояния металла срезаемого припуска и стружкодробления. Объясняется механизм дробления сливной стружки под действием импульсного давления СОЖ. Даются рекомендации к применению ударных волн высокого давления в подводимой внешней смазочно-охлаждающей среде для ломания стружки на элементы необходимой длины без применения средств стружкодробления.

*Ключевые слова:* контактные процессы, импульсное давление в СОЖ, зона контакта инструмента со стружкой, дробление стружки.

Сложное контактное взаимодействие стружки с режущим инструментом при механической обработке существенно влияет как на сопротивление металла резанию, характер и напряженность пластического деформирования срезаемого слоя, так и на интенсивность износа режущего инструмента и качество обработанной поверхности. Процесс взаимодействия стружки с передней поверхностью режущего инструмента сопровождается образованием заторможенных частиц - областей высокого давления вблизи его лезвия и нароста (рис. 1).

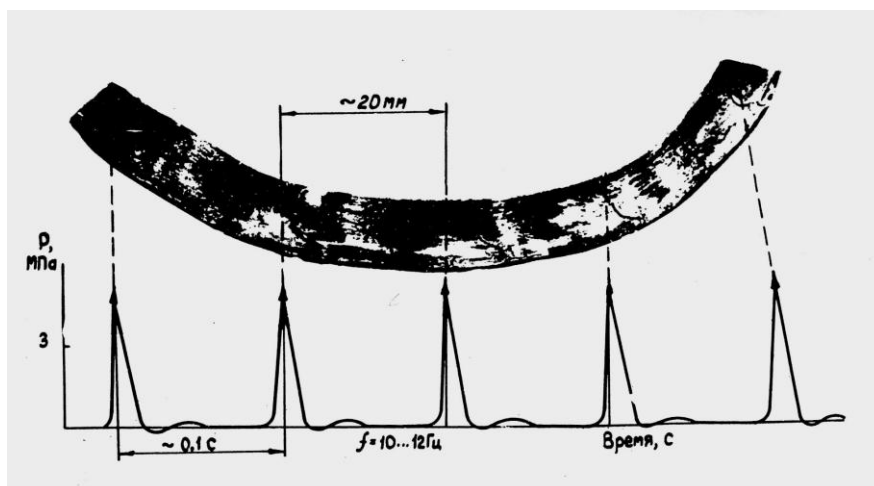


**Рис. 1.** Схема взаимодействия стружки с передней поверхностью режущего инструмента

При этом важно различать участки пластического и упругого контактов. Образование областей высокого давления (ОВД) происходит за счет реализации вихревой моды деформации в прирезцовых слоях стружки, которые являются основой для образования динамической диссипативной структуры-нароста на передней поверхности режущего инструмента [1, 2].

Как показали исследования [3, 4], при точении с использованием импульсного давления СОЖ величиной до 6 МПа стружка не дробилась, но на ее прирезцовой поверхности по длине стружки чередовались блестящие и матовые участки, разделенные следами надлома с шагом, соответствующим частоте генерации импульсов давления (рис. 2).





**Рис.2. Стружка со следами действия импульсного давления СОЖ:**  
 ОМ-40Х; ИМ-Р18; СОЖ-И-5А;  $V=0,3$  м/с;  $S=0,15$  мм/об;  $t=2$  мм

Анализ чередования данных участков с учетом синхронизации их возникновения с частотой следования импульсных электрических разрядов выявил существенную закономерность. Матовый участок поверхности стружки соответствует времени обработки без импульсного давления, т. е. в традиционных условиях резания с поливом СОЖ. При этом СОЖ, по-видимому, проникает только на участок упругого контакта поверхностей трения стружки с лезвием инструмента и на передней поверхности инструмента интенсивно образуется нарост. При возникновении электрического разряда под действием импульсного давления СОЖ ее пары и продукты деструкции проникают на большую часть зоны пластического контакта фрикционной пары инструмент – стружка и на некоторое время действия резко изменяют контактные процессы. В результате нарост срывается и уносится стружкой, а СОЖ создает смазывающий эффект на контактирующих поверхностях и улучшает условия трения стружки с лезвием инструмента. Этому периоду времени соответствует блестящий участок приконтактной поверхности стружки. Действие СОЖ происходит непродолжительное время, и на передней поверхности лезвия инструмента вновь быстро образуется нарост, а на прирезцовой поверхности стружки – матовый шероховатый участок. С возникновением очередного импульса давления СОЖ снова проникает на большую часть зоны контактного взаимодействия стружки с инструментом. Нарост срывается и уносится стружкой. Цикл повторяется.

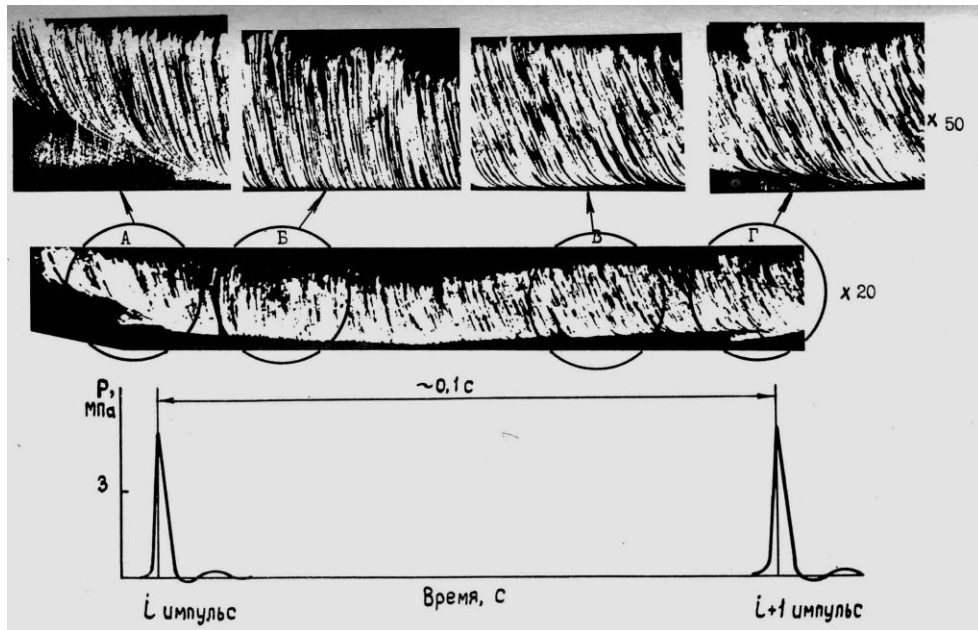
С целью определения влияния импульсного давления СОЖ на контактные процессы и условий стружкообразования, напряженно-деформированного состояния металла срезаемого припуска и стружкодробления проведен металлографический анализ полученных стружек. Отбирались образцы стружек, полученных при точении с генерацией импульсного давления различной величины и при обработке резанием с традиционным поливом СОЖ.

На рис. 3 представлены микрофотография участка стружки, полученного при точении стали 40Х со скоростью резания 1 м/с, подачей 0,15 мм/об и глубиной резания 2 мм, между двумя соседними импульсами давления величиной около 6 МПа, серия которых генерировалась в масляной СОЖ И-5А, а также отличительные фрагменты этого участка стружки. На рис. 4 приведены распределения микротвердости в продольных сечениях по длине и толщине стружки.

Металлографический анализ выявил значительные изменения текстуры как по длине, так и толщине представленного образца стружки между соседними импульсами давления и периодическую повторяемость этих изменений от импульса к импульсу (рис. 3).

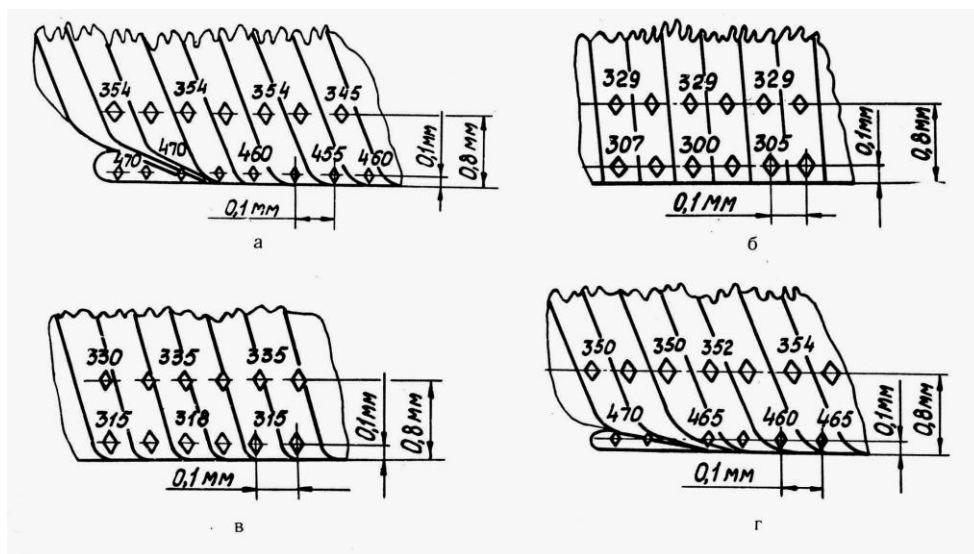
Результаты измерения позволяют констатировать, что самая большая микротвердость (до 470 ед. НВ) зафиксирована в приконтактном слое стружки, граничащем с наростом

(рис. 4, а – рис. 3, А; рис. 4, з; – рис. 3, Г). На расстоянии 0,8 мм от прирезцово́й поверхности микротвердость уменьшилась на 116 ед. НВ. Микротвердость приконтактного слоя участка стружки только с поперечной текстурой (рис. 4, б – 3, Б) значительно ниже и у остальных участков составляет 307 ед. НВ. Важно отметить, что эта микротвердость оказалась ниже на 22 ед. НВ микротвердости, измеренной на расстоянии 0,8 мм от прирезцово́й поверхности этого же участка стружки (рис. 3, Б). На участке с продольной и поперечной текстурой (рис. 4, в, рис. 3, В) микротвердость несколько выше, чем на предыдущем участке (рис. 3, Б), но тенденция того, что микротвердость в контактном слое ниже по сравнению с таковой в середине этого участка сохраняется.



**Рис. 3. Участок стружки, полученный в период времени между двумя соседними импульсами давления:**

А, Г – после возникновения импульса давления; Б – между импульсами давления с отсутствием продольной текстуры; В – между импульсами давления с возникновением продольной текстуры



**Рис. 4. Распределение микротвердости в продольном сечении по длине и толщине стружки на участке:**

а – со срывом нароста; б – с поперечной текстурой; в – с продольной текстурой; г – со срывом следующего нароста

Циклическая переменность текстуры (рис. 3), а также результаты измерения микротвердости в приконтактном слое (рис. 4) в середине толщины и в наружном слое стружки свидетельствуют о существенном изменении напряженно-деформированного состояния в результате действия импульсного давления СОЖ. Условия трения по длине контакта стружки с передней поверхностью лезвия инструмента характеризуются высокой неоднородностью. При отсутствии импульсного давления СОЖ в той части контакта, которая непосредственно прилегает к режущей кромке инструмента, в соприкосновении находятся ювенильные (физически чистые) металлические поверхности стружки и инструмента, между которыми появляется физический контакт.

При наличии относительного перемещения трущихся поверхностей инструмента и стружки осуществляется явление схватывания и массопереноса обрабатываемого материала на лезвие инструмента, приводящее к возникновению нароста. При появлении нароста возникает заторможенный слой стружки на участке ее пластического контакта с передней поверхностью резца и наблюдается ярко выраженная продольная текстура в контактном слое стружки, характеризующая его интенсивную вторичную пластическую деформацию. Причем чем больше сила трения, действующая между контактирующими поверхностями стружки и инструмента, тем сильнее тормозится контактный слой стружки и тем больше искривление линий текстуры и толщина слоя, в котором это искривление наблюдается. В этот момент система резания находится в определенном состоянии динамического равновесия. Процессы и напряженное состояние в зоне стружкообразования зависят от контактных процессов в зоне вторичной пластической деформации. Иначе говоря, напряженное состояние в одной зоне не может быть изменено без того, чтобы соответственно не изменилось напряженное состояние в другой зоне. Угол наклона поперечной текстуры к прирезцовой поверхности стружки имеет определенное значение (рис. 3, А).

С возникновением в СОЖ импульса давления около 6 МПа с крутым фронтом и длительностью в пределах  $(10-50) \cdot 10^{-6}$  с, под действием которого СОЖ, по-видимому, проникает на большую часть зоны контакта стружки с инструментом, оказывая соответствующее воздействие на контактные процессы, значительно облегчаются условия трения стружки по передней поверхности лезвия инструмента. Происходит разупрочнение адгезионной связи основания нароста с инструментом — нарост полностью срывается и уносится стружкой (рис. 3, А). Значительное снижение трения предопределяет переход к граничному трению без существенных вторичных пластических деформаций контактного слоя стружки. Всю толщину стружки пронизывает однородная поперечная текстура (рис. 3, Б). Система резания выходит из состояния динамического равновесия.

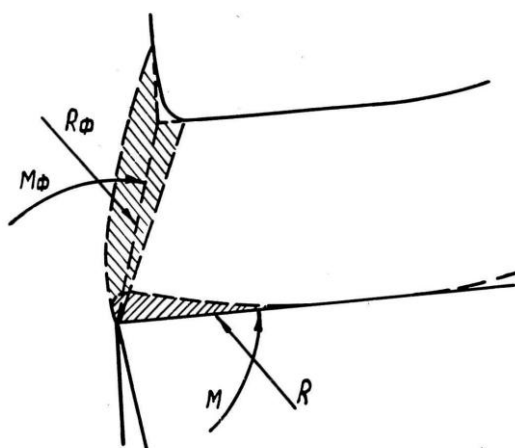


Рис. 5. Схема сил и моментов, действующих на стружку

В связи с тем, что значительно изменились условия трения стружки по передней по-

верхности инструмента, существенно изменилось и напряженное состояние в зоне контактного взаимодействия стружки с резцом. Изменение контактных напряжений приводит к изменению силы  $R$  и момента  $M$ , действующих на стружку со стороны передней поверхности инструмента (рис. 5). Но для соблюдения условия динамического равновесия должны измениться сила  $R_f$  и момент  $M_f$ , действующие на стружку со стороны зоны стружкообразования, что возможно лишь при изменении напряжений в зоне стружкообразования.

Такое изменение напряжений обуславливает значительное снижение степени пластической деформации срезаемого слоя и увеличение угла наклона текстуры к передней поверхности инструмента (на рис. 3, *Б* – поворот по часовой стрелке). Действие СОЖ происходит непродолжительное время, трение между контактирующими поверхностями стружки и инструмента и степень пластической деформации вновь увеличиваются.

Возникновение трения с повышенной адгезией и интенсивной пластической деформации обеспечивает в какой-то момент восстановление очередного нароста, образование и увеличение толщины заторможенного слоя. В приконтактном слое стружки вновь появляется продольная текстура (рис. 3, *В*). Система восстанавливает прежнее состояние динамического равновесия, при этом напряжения в зоне стружкообразования увеличиваются, а угол наклона поперечной текстуры сходящей стружки вновь уменьшается (на рис. 3, *В* поворачивается против часовой стрелки).

Под действием очередного импульса давления, возникающего в СОЖ, происходит проникновение ее очередной энергетически активированной порции на границу фрикционной пары стружка – инструмент. Трение уменьшается, и нарост вновь полностью срывается и уносится стружкой (рис. 3, *Г*). Цикл повторяется.

Металлографический анализ стружек, полученных при точении стали 40Х с импульсным давлением свыше 10 МПа, выявил, что после срыва нароста в результате резкого изменения напряженного состояния в зоне стружкообразования и появления значительных растягивающих напряжений на условной плоскости сдвига возникает магистральная трещина, приводящая к разрушению стружки. Аналогичные результаты получены при точении нержавеющей стали 0Х18Н10Т с генерацией импульсного давления до 12 МПа.

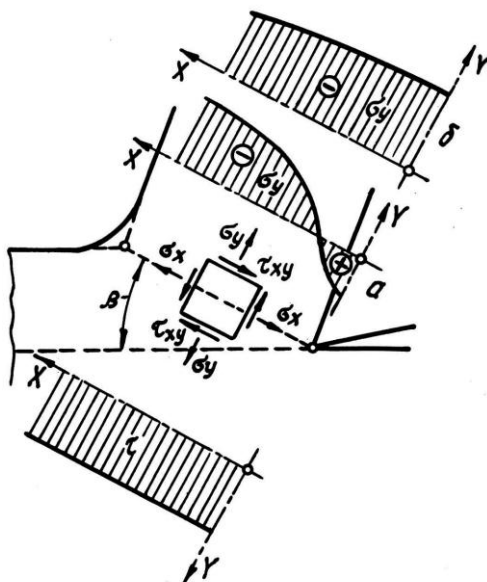
Разрушение материалов стружки, как и их пластическая деформация, является процессом, развивающимся во времени. Начало разрушения, согласно современным представлениям, всегда связано с действием касательных напряжений, под влиянием которых образуются субмикротрещины, разрушающие материал стружки локально. Продолжение разрушения происходит под действием нормальных растягивающих напряжений, которые приводят к увеличению трещин и, если процесс развивается до конца, к появлению магистральной трещины, полностью разрушающей ранее сплошной материал на части.

Результаты проведенного металлографического анализа позволяют констатировать и объяснить механизм дробления сливной стружки под действием импульсного давления СОЖ.

Как сказано ранее, при резании без генерации импульсного давления (при обычных условиях обработки) вследствие тяжелых условий трения стружки с инструментом возникает интенсивная пластическая деформация приконтактного слоя стружки. При этом сжимающие нормальные напряжения вдоль условной плоскости сдвига распределяются почти равномерно [4]. Эпюра их имеет вид, подобный изображенному на рис. 6. При этом касательные напряжения, независимо от марки и свойств обрабатываемого материала, величины переднего угла, толщины срезаемого слоя и скорости резания, имеют постоянную величину. Система резания находится в определенном состоянии динамического равновесия.

Под действием импульсного давления значительно улучшается проникновение СОЖ на большую часть границы фрикционной пары инструмент – стружка, вследствие чего резко изменяются контактные процессы, протекающие в зоне трения, и напряженно-деформированное состояние срезаемого слоя в зоне первичной пластической деформации, которые приводят к нарушению ранее установившегося стабильного процесса стружкообра-

зования. Вследствие облегчения трения стружки по передней поверхности инструмента нормальные (сжимающие) напряжения уменьшаются по мере приближения к режущей кромке и в некоторой точке условной плоскости сдвига меняют свой знак на противоположный. Вблизи режущей кромки появляются дополнительные растягивающие напряжения [4, 5]. Эпюра нормальных внутренних напряжений, проходя все промежуточные стадии, приближается к виду, показанному на рис. 6, а. Такие изменения приводят к ослаблению интенсивности пластических деформаций.



**Рис. 6. Изменение эпюры нормальных внутренних напряжений на условной плоскости сдвига при различной степени деформации срезаемого слоя**

При генерации импульса давления СОЖ небольшой величины (до 6 МПа) возникающие растягивающие напряжения не способны разрушить стружку. Создание импульсов давления в СОЖ по амплитуде свыше 10 МПа приводит к резкому существенному изменению напряженного состояния металла и возникновению значительных растягивающих напряжений на условной плоскости сдвига, способных образовать вблизи режущей кромки макротрещину, нарушить сплошность материала в этой области и разрушить стружку во время ее формирования.

По окончании действия смазки прежние сложные контактные процессы и напряженно-деформированное состояние срезаемого слоя восстанавливаются. Система восстанавливает и свое прежнее состояние динамического равновесия. Внутренние сжимающие нормальные напряжения, проходя все промежуточные стадии, распределяются почти равномерно и восстанавливают свой первоначальный вид, как показано на рис. 6, б. Процесс сливного стружкообразования снова стабилизируется. Цикл закончился. Очевидно, возникновение очередного импульса высокого давления даст реальную возможность повторить указанный цикл и, следовательно, осуществить очередное естественное ломание стружки без применения каких-либо средств стружкодробления. Генерирование подобных ударных волн высокого давления в подводимой внешней смазочно-охлаждающей среде с достаточной энергией и частотой обуславливает дробление стружки на элементы необходимой длины.

#### Библиографический список

1. Кабалдин, Ю.Г. Управление стружкообразованием при резании углеродистых сталей // Вестник машиностроения. – 1992. – №2. – С. 44–48.
2. Кабалдин, Ю.Г. Механизм деформации срезаемого слоя и стружкообразования при резании // Вестник машиностроения. – 1992. – №7. – С. 25-30.

3. **Кретинин, О.В.** Импульсное давление как средство повышения активации СОЖ при резании / О.В. Кретинин, А.А. Москвичев // Электронная обработка материалов. – 1985. – № 4. – С. 173–176.
4. **Кретинин, О.В.** Интенсификация процесса резания с помощью импульсного давления СОЖ/ О.В. Кретинин, А.А. Москвичев // Прогрессивная технология – основа повышения качества изготовления и производительности обработки деталей машин: тез. докл. региональной научно-технической конф. – Горький: ГПИ, 1986. – С. 71–73.
5. А. С. 1342690 СССР, МКИ В23 Q 11/12 Способ обработки материалов резанием / М.И. Клушин, О.В. Кретинин и А.А. Москвичев // Бюл. Открытия. Изобретения. – 1987. – № 37. – С. 54.

*Дата поступления  
в редакцию 26.01.2017*

**A.A. Moskvicev, A.R. Kvartalov**

### **THE MANAGEMENT OF CONTACT INTERACTION OF THE CHIPS WITH THE CUTTING TOOL**

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

**Purpose:** Consideration is being given to the possibility of influencing the contact area of the tool with the chip through excitation in pulsed high pressure coolant.

**Methodology:** The results of research on the effect of pulse pressure on nature of chips while turning of steels. Metallographic analysis conducted to determine the impact chips pulse pressure coolant contact chip processes and conditions, describes the process of stress-strain state of metal cutting allowance and chip-breaking control. Explains the mechanism of crushing drain chips under the influence of pulse pressure coolant.

**Results:** Recommendations for application of high pressure shock waves in the input of external lubricating-cooling environment for breaking chips without the use of chip breakage required length elements.

*Key words:* contact processes, pulse pressure, contact area tool with chips, crushing chips.

УДК 621.9

И.Н. Фролова<sup>1</sup>, И.О. Пантелеев<sup>1</sup>, С.К. Сахаровский<sup>2</sup>**СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА  
ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>,  
ПАО «Нижегородский машиностроительный завод»<sup>2</sup>

Рассматривается способ классификации и структурирования параметров резцов и сменных многогранных пластин по функциональным частям с целью использования в базах данных автоматизированных систем проектирования технологических процессов.

*Ключевые слова:* сменная многогранная пластина, классификация, проектирование, формообразование.

**Введение**

При автоматизации технологического проектирования в самой системе проектирования необходимо иметь большое количество баз данных: база станков, база станочных приспособлений и др. При создании и дальнейшей эксплуатации подобных баз нужно обеспечить простой поиск, ввод и изменение элементов базы. Для этого требуется обеспечить однозначность и полноту ввода информации в базу данных для оснащения разных фирм и производителей, по которым человек, внося новые элементы в базу, мог бы однозначно определять их, а также, чтобы в системе проектирования можно было бы автоматически производить оценку соответствия требуемого значения со значением из базы данных, вне зависимости от того, в каком виде эти параметры были предоставлены производителем.

Например, необходимо произвести сборку токарного резца со сменной режущей пластиной для определенной технологической операции. Для этого требуется выполнить поиск по базам сменных режущих пластин и державок и оценить соответствие параметров посадочных мест (форма пластины, задний угол, длина режущей кромки, система крепления), параметров формообразующих функций (угол в плане, направления подачи и др.). Если наименования, обозначения этих параметров будут различаться или каких-то данных будет не хватать, как это случается у разных фирм-производителей, то произвести автоматически оценку соответствия не удастся, хотя для ручного проектирования такие недостатки не являются критическими.

Таким образом, для полного соответствия всех параметров, необходимо обеспечить полноту ввода информации при описании средств оснащения. То есть, структурировать информацию таким образом, чтобы она была понятна человеку и удобна для использования в системах автоматического проектирования.

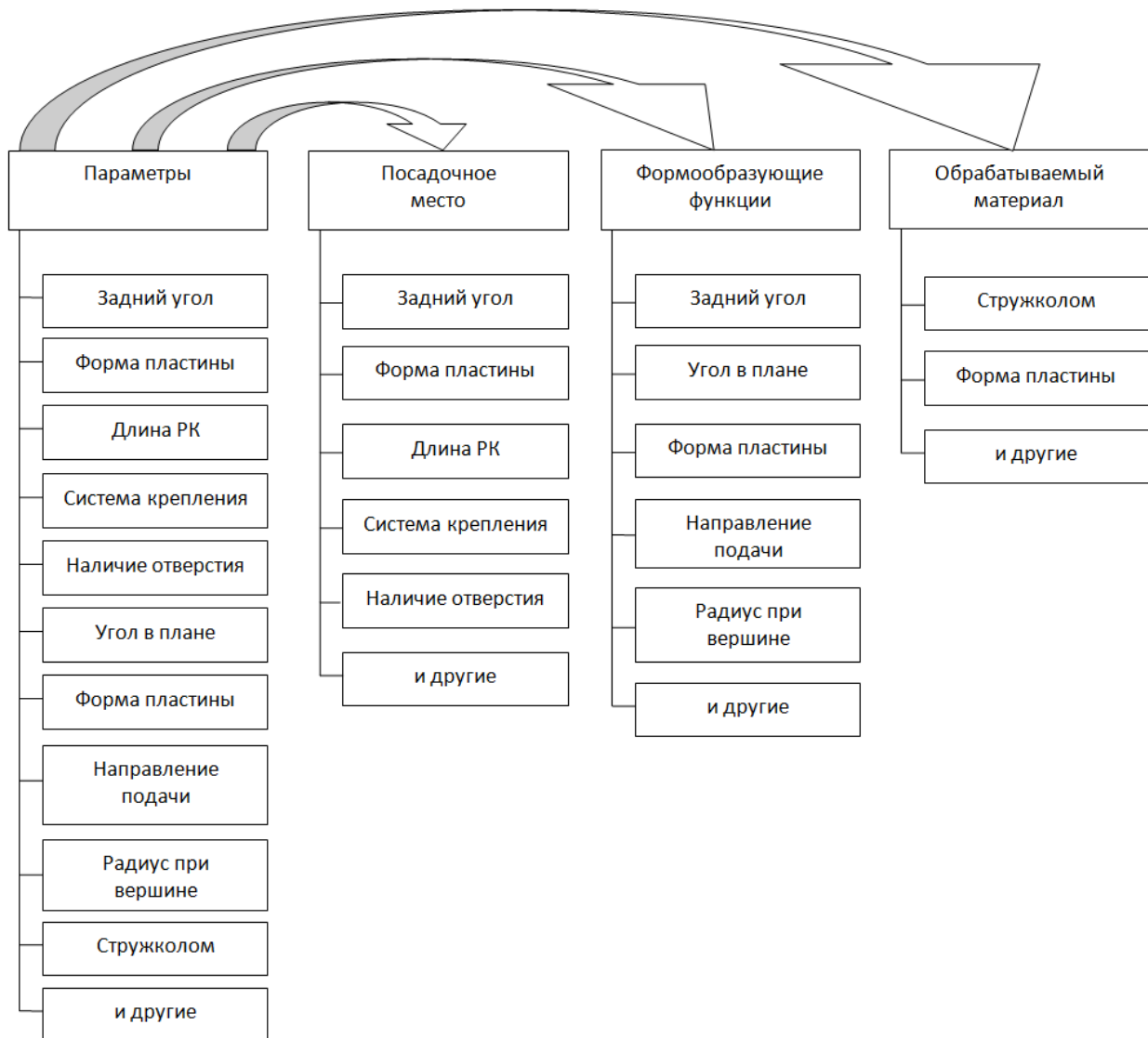
**Функции**

Основная цель классификации параметров в базе данных систем автоматизированного проектирования техпроцессов – это автоматизированная обработка информации о средствах технологического оснащения. Классификация как логический оператор – это многоступенчатое логическое деление, когда каждый из членов деления в свою очередь становится делимым понятием, но уже по иному основанию деления. От правильного деления требуется полнота деления (все члены деления должны быть перечислены) и чистота деления (члены деления должны быть не пересекающимися понятиями).

Ключевым этапом классификации параметров режущего инструмента является разделение информации, прежде всего, по функциональным частям, то есть для режущего инст-

румента отделение информации по посадочным местам от информации по формообразованию (рис. 1).

Посадочное место является комплексом базирующих поверхностей для сменной многогранной пластины (СМП), которое определяет положение режущего клина в пространстве. Соответствие СМП и несущей части (державки) должно проверяться по следующим параметрам: форма пластины, задний угол, номинальная длина режущей кромки, система крепления. Так же важным моментом является наличие отверстия в пластине, так как это влияет на систему закрепления. Если один из этих параметров СМП не найдет себе в базе данных "пару" в виде параметра державки, то сборка данных элементов признается неосуществимой.



**Рис. 1. Блок-схема разнесения параметров по функциям режущего инструмента**

Часть описанных параметров относится и к формообразующим функциям, например, форма пластины и задний угол, влияющие на образование контура обрабатываемой детали. Поэтому при заполнении базы данных эти параметры автоматически распределяются по соответствующим функциям заданной структуры.

Значимым параметром является наличие или отсутствие стружколомов на СМП. Для этого необходимо проводить анализ обрабатываемого материала с целью определения вязкости, в зависимости от которой будет определено, требуется стружколом или нет. Следует учитывать этапы обработки. Так как при черновой и получистовой обработке на резец дей-



ствуют значительные силы со стороны заготовки, то выбор формы СМП будет зависеть от условий обработки конкретного материала.

Все эти параметры влияют на процесс формообразования, точнее, выбор данных параметров будет зависеть от того, какую поверхность необходимо обработать, ее точность, шероховатость, а также, какие режимы резания будут назначены.

При заполнении базы данных должна быть обеспечена простота ввода, понятность и значимость, а также строгая определенность каждого параметра. Этому может способствовать краткое текстовое описание и эскизное изображение вводимых параметров.

Для последующего использования и сборки различных компонентов требуется использование 3D модели, а также математической модели объекта для его ориентации в пространстве.

Классификация параметров позволяет упростить процесс ввода информации в базу данных автоматизированной системы проектирования техпроцесса, а также дальнейшее представление информации в унифицированном виде и производить поиск по требуемым параметрам, то есть, выбрав хотя бы по одному параметру из различных функций, можно определить наличие требуемой СМП в базе. Можно производить оценку совместимости режущих пластин с несущей частью (державкой).

Любая система обозначения, кроме наличия того или иного параметра классификации, предполагает еще и определенную последовательность их расположения. У разных фирм-производителей последовательность расположения параметров часто бывает различной. В этом случае требуется осуществлять упорядочивание последовательности параметров по заранее установленным функциональным признакам.

### Пример ввода информации в базу данных

У многих фирм-производителей в систему обозначений часть требуемых параметров в явном виде не входит. Это существенно затрудняет заполнение базы данных, так как неявно указанные параметры далеко не всегда могут быть введены в явном виде, про них просто могут не знать или забыть администраторы баз данных. Самый распространенный пример - указание направления подачи, угла в плане не как параметра в базе данных, а в виде пояснения в иллюстрации (рисунке) или параметра в математической модели. Если осуществлять ввод параметров по заранее установленной функционально-ориентированной системе классификации, то окажется, что информацию по параметрам, взятым из обозначений фирмы-производителя, необходимо дополнять по иллюстрациям в каталогах.

Рассмотрим пример системы ввода информации в базу данных. В качестве примера возьмём из каталога KORLOY металлорежущего инструмента коды СМП и державки, записанные по ISO (табл. 1, 2). Как видно из табл. 1, 2, в данных, представленных в каталоге, отсутствует часть сведений (см. рис. 1).

Таблица 1

Код пластины по каталогу KORLOY

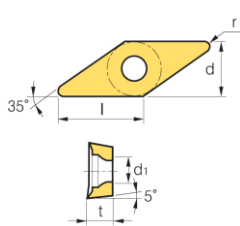
Код по ISO	Эскиз	Кодируемые параметры							
		Форма пластины	Задний угол пластины	Класс точности пластины	Тип СМП	Длина режущей кромки	Толщина пластины	Радиус вершины	Тип стружколома
VCGT 11 03 01-AK		1	2	3	4	5	6	7	8
		<b>V</b>	<b>C</b>	<b>G</b>	<b>T</b>	<b>11</b>	<b>03</b>	<b>01</b>	<b>AK</b>

Таблица 2

## Код державки по каталогу KORLOY

Код по ISO	Эскиз	Кодируемые параметры								
		Система крепления	Форма пластины	Тип державки	Задний угол пластины	Исполнение	Высота державки	Ширина державки	Длина державки	Длина режущей кромки
SVJCR 12 12-F11		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		<b>S</b>	<b>V</b>	<b>J</b>	<b>C</b>	<b>R</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>F</b>	<b>11</b>

Таблица 3

## Пример сопоставления информации в базе данных

Класс точности пластины	Тип СМП	Толщина пластины	Радиус вершины	Тип стружколома	Форма пластины	Задний угол пластины	Длина режущей кромки	Система крепления	Тип державки	Исполнение	Высота державки	Ширина державки	Длина державки					
					2	4	9	1						3	5	6	7	8
					<b>V</b>	<b>C</b>	<b>11</b>	<b>S</b>						<b>J</b>	<b>R</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>F</b>
3	4	6	7	8	1	2	5	9										
<b>G</b>	<b>T</b>	<b>03</b>	<b>01</b>	<b>AK</b>	<b>V</b>	<b>C</b>	<b>11</b>	<b>+</b>										

Для проверки возможности сборки необходимо найти "пары" пластина-державка и проверить соответствие таких параметров, как форма пластины, задний угол и длина режущей кромки в обоих элементах "пары". Так как последовательность представления требуемых параметров в каталогах фирм-производителей различна, то для однозначности производится сортировка последовательностей расположения параметров по функциональным признакам (табл. 3). При этом первоначальная последовательность расположения параметров нарушается.

При сопоставлении параметров необходимо учитывать неявные элементы. Например, параметра "Наличие отверстия" нет в исходном коде пластины, но его можно оценить визуально, при заполнении базы.

Так как многие пластины подходят к разным державкам с различными системами крепления, то следует предусмотреть такой параметр державки, как "Наличие отверстия", который будет предопределен в зависимости от самой системы крепления и именно он будет соотноситься с параметром "Наличие отверстия" СМП.

После проверки соответствия всех параметров, должна быть произведена первичная "сборка" всевозможных пар, при этом у каждой пластины и у каждой державки в базе данных должен появиться признак совместимости друг с другом. При выполнении поиска по базе данных (табл. 4) вводятся все известные параметры. Чем больше параметров будет введено, тем определеннее будет результат поиска. Часть параметров может использоваться в базе несколько раз, так как они могут выполнять различные функции (рис. 1), но будут иметь одинаковые значения, потому что являются параметрами одного комплекта инструмента.

Такие параметры, как форма пластины, радиус вершины, тип стружколома и задний угол, будут однозначно определены из кодов пластины и державки, а угол в плане и направление подачи будут зависеть от конкретной сборки "пары" (табл. 4).

Таблица 4

Пример поиска информации по базе данных

Формообразующие функции	Радиус вершины	Форма пластины	Задний угол пластины	Угол в плане	Направление подачи
	01	V	C	□	R
Обрабатываемый материал	Тип стружколома	Форма пластины			
	AK	V			

Для этого требуется задать соотношение между углами в плане и типами державок, которые меняются при первичной "сборке". То есть при различных комбинациях формы пластины и способах установки получатся разные "Типы державок", которые определяют "Угол в плане".

Рассмотренный пример показывает, как можно производить разделение, упорядочивание и сопоставление параметров "одного" комплекта инструмента (СМП - Державка) при вводе данных в базу, а также выполнять обратный процесс - поиск необходимых сменных многогранных пластинок и державок, используя известные параметры формообразующих функций и параметры, зависящие от обрабатываемого материала.

Поэтому требуется всегда обеспечивать полноту ввода информации, так как, если не занести один параметр пластины или державки в базу, невозможно будет произвести поиск по функциям, этим параметром выполняемым.

### Заключение

Таким образом, при создании инструментальных баз данных необходимо производить классификацию параметров и функций, выполняемых инструментом. Это позволит упростить процесс эксплуатации баз, а также уменьшит вероятность возникновения ошибок при сборке инструмента различных фирм-производителей.

Если придерживаться описанных принципов, появляется возможность производить автоматизацию комплектации средств технического оснащения, а также самой системы технологического проектирования.

### Библиографический список

1. KORLOY. Металлорежущий инструмент. 2014–2015. –1040 с.
2. SECO. Токарная обработка. 2015. – 703 с.
3. ГОСТ 26611-85. Резцы токарные проходные, подрезные и копировальные с креплением сменных пластин прихватом сверху. Конструкция и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 170 с.

*Дата поступления  
в редакцию 26.01.2017*

**I.N. Frolova<sup>1</sup>, I.O. Pantelev<sup>1</sup>, S.K. Sakharovsky<sup>2</sup>**

### **STRUCTURING OF THE CUTTING TOOL PARAMETERS FOR COMPUTER-AIDED DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES SYSTEMS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev<sup>1</sup>,  
Nizhny Novgorod Machine-Building Plant<sup>2</sup>

**Purpose:** Shows the possibility of a way to classify and structure parameters of indexable inserts for functional parts for use in factory automation systems.

**Approach:** Feature parameter memory division, the change of coding sequences to create a tool kit, based on the functional purpose of each parameter.

**Findings:** Application of this method of classification and structuring of the cutting tool settings will produce a quick assembly and find analogues, as well as will reduce the technical and economic costs.

**Originality/value:** Selection tool by splitting the code into functional parameters.

*Key words:* indexable insert, classification, development, morphogenesis.

УДК 62-52-83:656.56

О.В. Крюков

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТА ГАЗА

АО «Гипрогазцентр»

Рассмотрены аналитические модели энергоэффективного транспорта природного газа по магистральным газопроводам. Предложена схема и современные технические средства оптимизации затрат на транспорт газа и алгоритмы управления технологическими установками компрессорных станций и линейных участков газотранспортных систем.

*Ключевые слова:* Энергоэффективность, магистральные газопроводы, электроприводные компрессорные станции, оптимальные модели технологических участков.

## Введение

В последние годы в топливно-энергетическом комплексе и, в частности, в газовой промышленности сложилась ситуация, выдвинувшая проблему энергосбережения на первый план [1-3]. Это связано с тем, что развитие энергетических отраслей промышленности в прошлом столетии осуществлялось форсированными темпами. Ежегодно вводилось в действие более 10 тыс. км магистральных газопроводов (МГ) и компрессорных станций (КС) мощностью 2,0 млн кВт с приростом добычи более 50 млрд м<sup>3</sup>.

Такие успехи в развитии газовой промышленности в значительной мере были обусловлены тем, что в стране был создан необходимый научно-производственный потенциал, мощная база строительной индустрии, высокими темпами велась разведка запасов природного газа. Широкомасштабная газификация народного хозяйства резко повысила производительность труда во многих отраслях промышленности, благодаря чему были обеспечены высокие темпы экономического роста [4, 5].

Однако в период интенсивного развития газовой промышленности появился целый ряд негативных факторов. В частности, можно отметить повышенную энергоемкость существующих газопроводов, сложившуюся в результате выбора их проектных параметров при чрезвычайно низких ценах на энергоресурсы и дефиците труб. Вследствие этого проектная удельная энергоемкость российских газопроводов, отнесенная к объему товарно-транспортной работы, примерно на 50–70% выше, чем западных газопроводов [6, 7].

В условиях отставания отечественного компрессоростроительного комплекса приходилось устанавливать на КС газоперекачивающие агрегаты (ГПА) с более низким КПД по сравнению с зарубежными аналогами. Существующий парк ГПА имеет средний КПД 28 % (тогда как современные агрегаты имеют КПД на уровне 36 %), что обуславливает перерасход топливного газа на 15-20 %. Однако удельный расход топливно-энергетических ресурсов, включая газ, на привод ГПА в течение многих лет снижается в связи с вынужденной разгрузкой газотранспортной сети (после 1991 г. поступление газа и загрузка газопроводов постоянно снижаются [8, 9]). Снижение нагрузки позволяет снизить удельные энергозатраты на 20 %, что свидетельствует об имеющихся резервах снижения энергозатрат на работу ГПА как основных потребителей энергоресурсов единой газотранспортной системой (ЕГС).

Газопроводы, вводимые в эксплуатацию в период интенсифицированной перекачки газа, часто не были оснащены системами телемеханики, а из-за возникшего дефицита запорной арматуры ее установка велась с увеличенным шагом, из-за чего в настоящее время при проведении ремонтных работ приходится стравливать огромное количество газа в атмосферу. В то же время на зарубежных станциях при проведении ремонтных работ весь газ по-

стует в специальные емкости, откуда в дальнейшем отбирается на нужды станции или направляется потребителям [10, 11].

Кроме того, из-за отсутствия современной системы учета и контроля газа, а также из-за использования морально и физически устаревшего оборудования на большинстве КС имеются потери природного газа [12, 13]. Причем, начиная с 1990 г. они непрерывно растут. Постоянный рост потерь природного газа при перекачке связан со значительным износом трубопроводного и перекачивающего оборудования. Большая доля потерь природного газа приходится на коммерческие потери, которые в газовых хозяйствах определяются исходя из относительной погрешности приборов учета 2,5–5 % (при мировой практике 0,25 %). Так, плановые потери газа по газовому хозяйству ОАО «Газпром» составляют 370 млн м<sup>3</sup>/год.

Кризисная ситуация в экономике страны также оказала негативное влияние на развитие и функционирование ТЭК и газовой промышленности. Прежде всего, следует отметить уменьшение добычи угля и нефти и повышение в 1,5–3,0 раза их цены по сравнению с природным газом. Это не только не стимулировало сбережение газа, но сделало его более предпочтительным для потребителей по сравнению с другими видами топлива. В результате доля природного газа среди первичных энергоносителей возросла за последние 10 лет с 42 до 50 % и более.

Из-за нехватки финансовых средств на ремонт и реконструкцию возрастает старение и износ основных производственных фондов, ухудшается техническое состояние газоперекачивающего парка и линейной части магистральных газопроводов. На настоящий момент состояние объектов газификации характеризуют следующие данные [14, 15]:

- более 30 % газопроводов высокого, среднего и низкого давления находятся в эксплуатации более 30 лет и требуют обследования и реконструкции;
- большая часть узлов учета газа оборудована морально и физически устаревшей техникой, погрешности которой до 5 % превышают нормативные;
- около 20 % газоиспользующего оборудования выработало установленный заводом-изготовителем ресурс;
- основная часть газорегуляторных пунктов выработала 20 лет без замены оборудования;
- износ основных фондов предприятий газового хозяйства России составляет более 50 %.

По этим причинам значительная часть МГ работает с пониженным давлением, а в целом ЕГС России, запроектированная на высокую пропускную способность, оказалась в нерасчетном режиме пониженной загрузки, что приводит к увеличению энергетических затрат и требует проведения специальных мероприятий по снижению энергоемкости транспорта в новых условиях.

Из года в год возрастает необходимость ввода в действие дожимных КС, так как участки МГ работают с пониженным давлением, из-за чего линейные КС функционируют с повышенными затратами мощности. Этот факт требует разработки и внедрения автоматизированной электронной системы, позволяющей производить оптимальную загрузку всех КС, участвующих в перекачке газа на определенной магистрали. Кроме того, значительная часть газа расходуется ГПА на дожимных КС, поэтому основные усилия по энергосбережению должны быть направлены на газосбережение именно на самих станциях. Это возможно за счет повышения эффективности их работы.

За последние годы прошлого века значительно снизилась добыча газа, что связано с падением добычи газа на большинстве имеющихся месторождений. Поиск, разработка и ввод новых месторождений, расположенных в неосвоенных районах со сложными природно-климатическими условиями и слабо развитой инфраструктурой, требует огромных финансовых затрат и связан с ростом себестоимости добычи и транспортировки газа.

Поэтому основными направлениями энергосбережения, необходимыми для успешного развития системы газоснабжения России, являются [16–19]:

- экономия ресурсов газа для его использования на собственные нужды станции или для подачи потребителям;
- повышение эффективности работы существующего парка ГПА за счет поиска и устранения мест неэффективного использования газа;
- снижение эксплуатационных издержек за счет оптимизации режимов работы основного и вспомогательного оборудования КС;
- совершенствование системы учета и контроля газа в газовом хозяйстве, приведение ее к международным стандартам;
- постепенная замена устаревшего оборудования на современное высокотехнологичное, имеющее высокий КПД и малое потребление энергоносителей;
- снижение выбросов тепличных газов и вредных веществ в атмосферу.

Первые три направления из перечисленных могут быть реализованы с минимальными инвестиционными затратами путем системной оптимизации энергопотребления всех технологических агрегатов КС [20–23].

### Системный анализ функционирования агрегатов КС

Как известно, технология компримирования природного газа на КС МГ состоит из термодинамических процессов сжатия, расширения и охлаждения. При этом термодинамическая эффективность этих процессов всецело зависит от правильного выбора промежуточных параметров (оптимального давления и температуры газа) на выходе каждой ступени сжатия компрессора и в каждой последовательно расположенной КС.

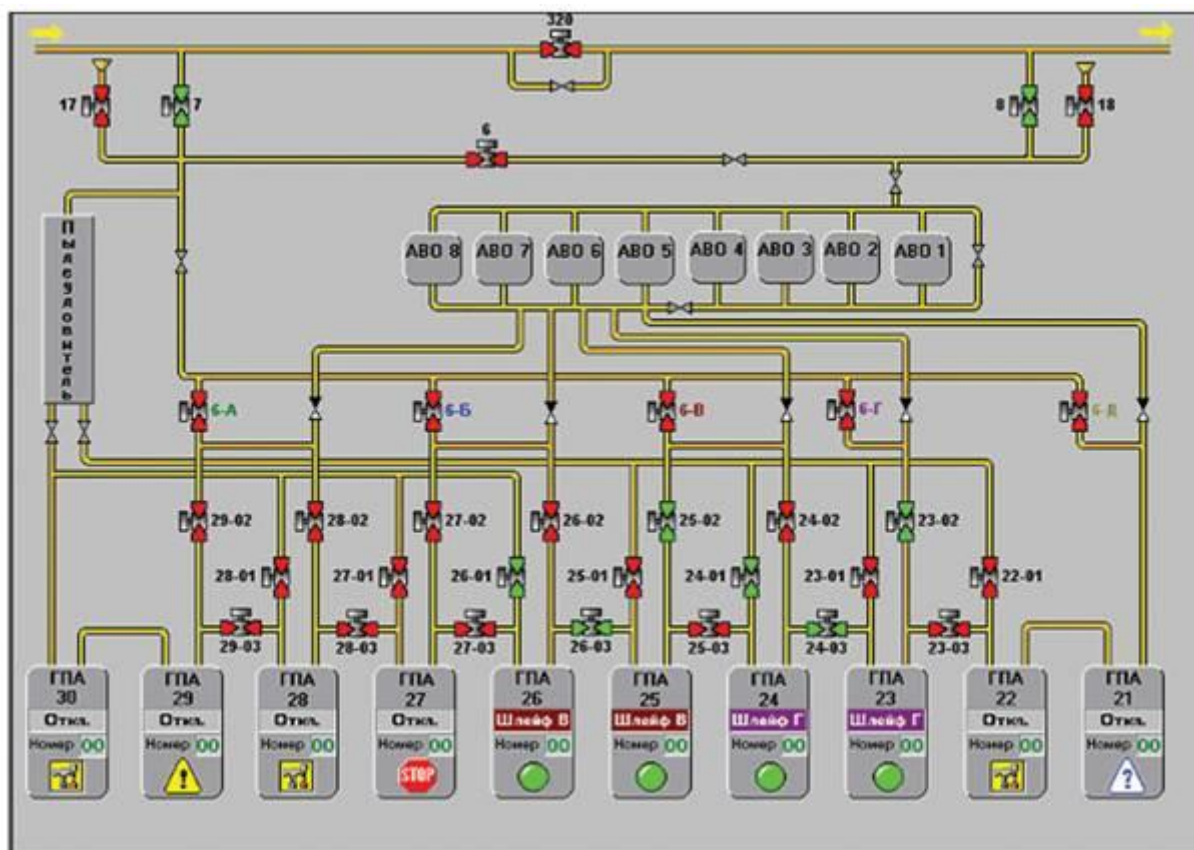


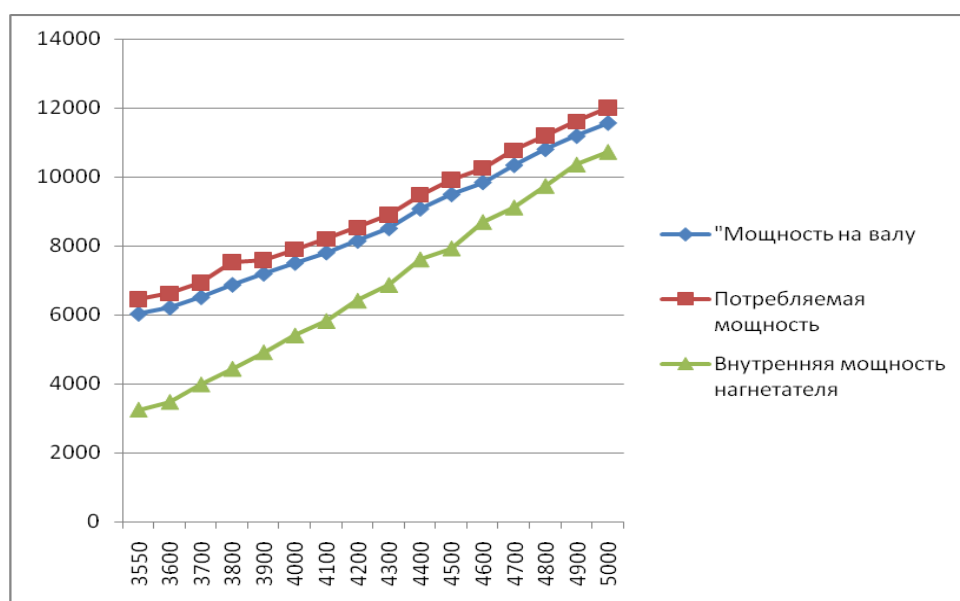
Рис. 1. Функциональная схема агрегатов КС

Очевидно, что для любого центробежного нагнетателя и осевого компрессора, работающих на одну и ту же магистральную нитку, выбор оптимальных термодинамических параметров компримирования имеет свою специфику и особенности. Поэтому структурно-

параметрическая оптимизация параметров давления и температуры газа в рамках КС (рис. 1) может быть достигнута реализацией следующих мероприятий [22]:

1. Математическая обработка статистических данных КС по параметрам и объемам перекачиваемого газа и энергетическим показателям оборудования;
2. Проведение экспериментальных измерений и технологических испытаний нагнетателей природного газа с целью получения их фактических рабочих и энергетических характеристик;
3. Проведение экспериментальных измерений и технологических испытаний теплообменных аппаратов воздушного охлаждения газа для анализа их фактических технических и энергетических характеристик;
4. Анализ обследованных линейных участков трубопроводов с целью получения их эксплуатационных характеристик во всех возможных режимах работы МГ;
5. Формализация работы локальных участков МГ с КС и адаптация к ним математических моделей отдельных элементов системы сжатия, охлаждения и передачи газа по трубопроводам;
6. Структурно-параметрический синтез и декомпозиция агрегатов участка МГ, группы ГПА, АВО газа в единую оптимизационную модель теплоэнергетической системы сжатия, охлаждения и передачи газа;
7. Разработка алгоритмического и программного обеспечения для компьютерного исследования функционирования КС и ЛПУ МГ и оптимизации параметров компримируемого газа;
8. Исследование энергетической эффективности перспективных технологий, направленных на регулирование режимов работы КС и рационального выбора технических средств для их реализации.

Так, экспериментальные исследования, проведенные на КС «Сеченовская» ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» МГ «Ямбург – Елец 2» (по ЭГПА №2) показали (рис. 2–7), что кратность диапазона реального изменения параметров перекачки природного газа достигает 5–6. Причем анализ фактического функционирования КС выявил неэкономичные режимы работы технологического оборудования, обусловленные наличием объективных и субъективных факторов.



**Рис. 2.** Зависимости мощности на валу двигателя, потребляемой мощности и внутренней мощности нагнетателя от частоты вращения двигателя



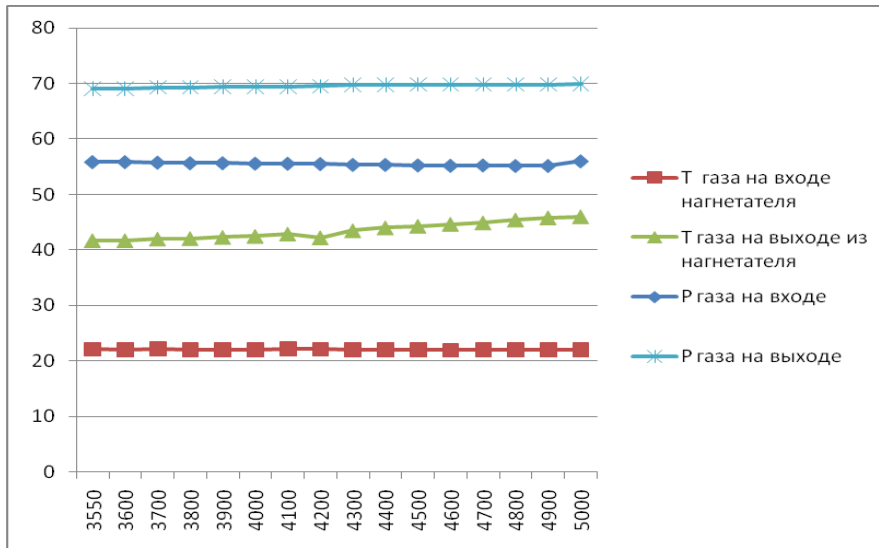


Рис. 3. Зависимости температуры газа на входе и выходе из нагнетателя, давления газа на входе и выходе из нагнетателя от частоты вращения двигателя

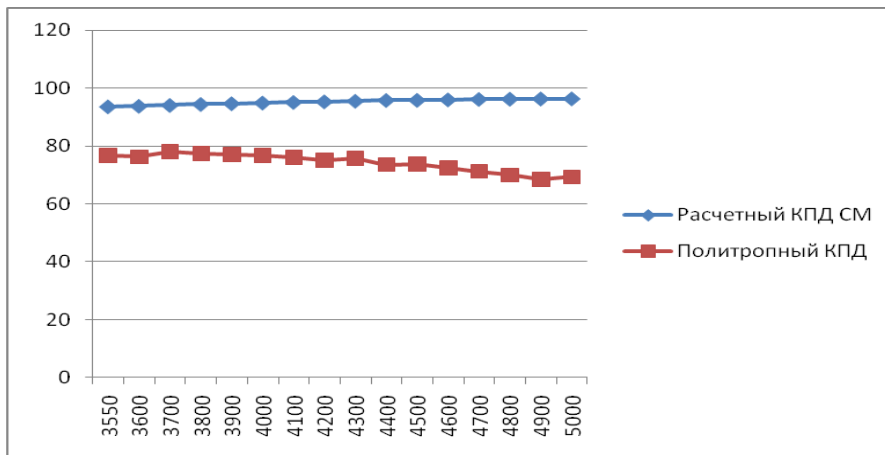


Рис. 4. Зависимость КПД приводного двигателя ГПА от частоты его вращения

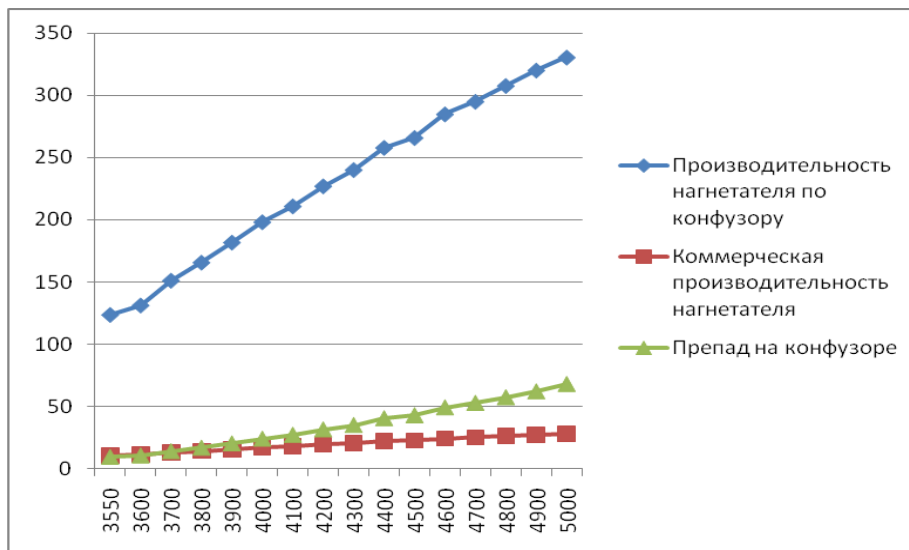
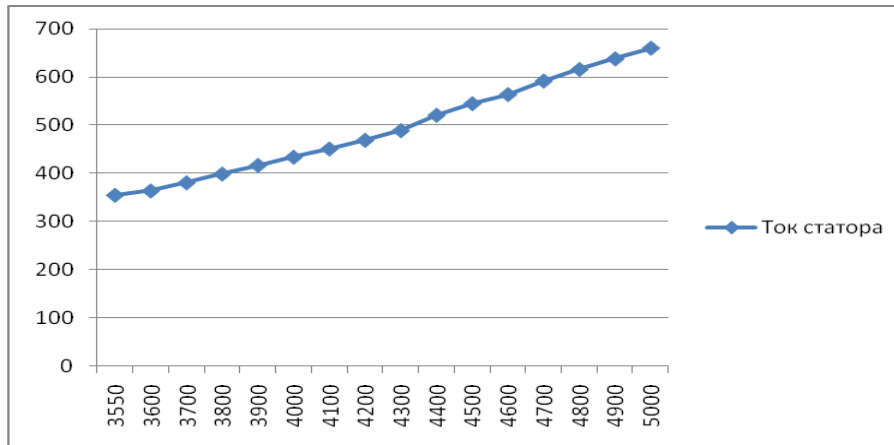
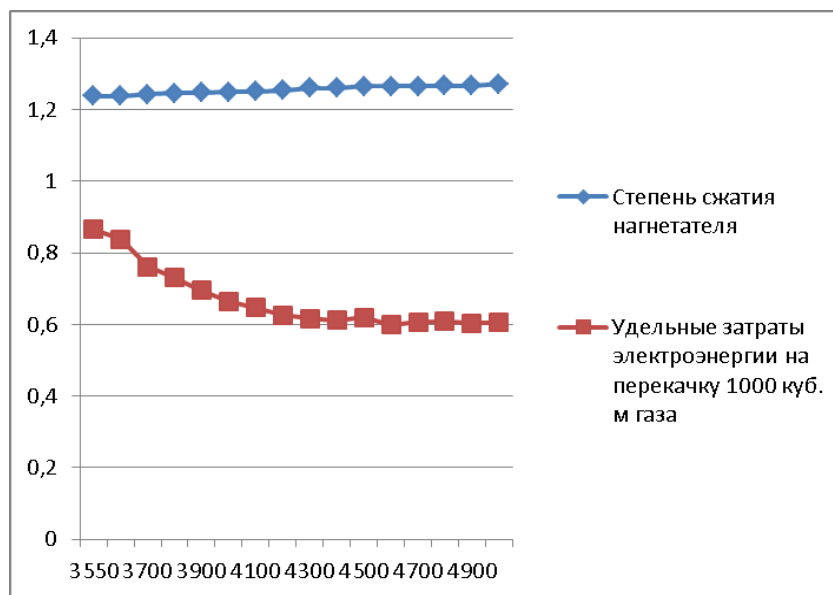


Рис. 5. Зависимости производительности нагнетателя по конфузору, коммерческой производительности и перепада на конфузоре от частоты вращения двигателя



**Рис. 6. Зависимость тока статора приводного двигателя от частоты вращения ГПА**



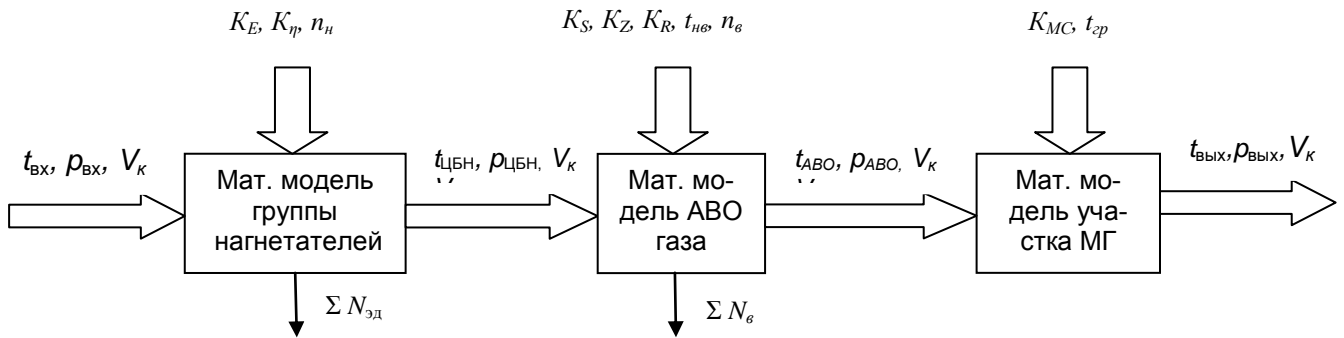
**Рис. 7. Зависимость степени сжатия нагнетателя и удельных затрат электроэнергии на перекачку 1000 куб. м газа от частоты вращения двигателя**

Главная причина такого положения заключается в том, что на практике в процессе эксплуатации МГ температура и давление природного газа на выходе КС выбираются диспетчерами не системно, без достаточного технико-экономического обоснования, а на основе имеющегося у них опыта и интуиции. Кроме того, нередко операторы не могут выставить требуемые параметры транспорта газа из-за отсутствия возможности их регулирования. Это возникает, например, из-за ограниченной мощности установок охлаждения газа в период летнего максимума температур воздуха, отсутствия средств регулирования скорости нагнетателей или существенного различия характеристик параллельно работающих ЭГПА.

Всесторонний анализ приведенных данных и аналогичных результатов по другим МГ, КС и отдельным ЛПУ показал необходимость комплексного использования методов системного анализа, математического моделирования и оптимизационного поиска решения системного управления в технологиях сжатия, охлаждения и транспорта газа по трубопроводам.

### **Математическое моделирование работы агрегатов КС**

На рис. 8 представлена функциональная схема, формализующая технологические процессы сжатия с нагреванием входящего газа (нагнетатели), охлаждения его после компримирования (АВО газа) и транспорта его по выходному участку газопровода. Рассмотрим особенности математического описания данных объектов.



**Рис. 8. Схема формализации взаимодействия агрегатов КС:**

$t_i, p_i$  – значения температуры и давления природного газа на входе/выходе агрегатов;

$V_k$  – коммерческий расход природного газа;  $n_n$  – частота вращения вала нагнетателя;

$K_E, K_\eta$  – коэффициенты приведения паспортных характеристик степени сжатия и политропного КПД к реальным условиям;  $\Sigma N_{эд}, \Sigma N_г$  – соответственно суммарные мощности приводов нагнетателей и вентиляторов АВО газа;  $t_{нв}, t_{гр}$  – соответственно температуры наружного воздуха и грунта;  $n_г$  – количество включенных вентиляторов;  $K_S, K_Z, K_R$  – коэффициенты, учитывающие степень загрязнения АВО с оребренной и с внутренней поверхности, а также техническое состояние уплотнений;

$K_{МС}$  – коэффициент местного сопротивления трубопровода

Математическая модель группы центробежных нагнетателей, как правило, строится по принципам идентификации и аппроксимации их фактических характеристик. При этом учитываются различные способы регулирования их производительности (дросселирование, байпасирование, изменение скорости вращения вала) и схемы группового включения на параллельную, последовательную и каскадную структуру работы.

Для определения выходной степени сжатия  $E_n$  и политропного КПД  $\eta_n$  всех ЦБН в функции приведенной объемной производительности нагнетателей  $V_{пр}$  соответствующие паспортные характеристики аппроксимируются квадратичными уравнениями:

$$\begin{aligned} E_n &= A_0 + A_1 V_{пр} + A_2 V_{пр}^2, \\ \eta_n &= B_0 + B_1 V_{пр} + B_2 V_{пр}^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Зависимость степени сжатия при фиксированной приведенной производительности от частоты вращения вала определяется выражением

$$E_{пр}^n = \left[ 1 + \bar{n}_{пр}^2 \left( E_n^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \frac{1}{\eta_n} - 1 \right) \right]. \quad (2)$$

где  $\bar{n}_{пр}$  – приведенное отношение частоты вращения ротора нагнетателя;  $\kappa/(\kappa-1)$  – показатель изоэнтропы.

Эквидистантное смещение паспортной характеристики вниз в модели ЦБН определяется коэффициентами приведения ( $K_E, K_\eta$ ), которые отражают техническое состояние нагнетателя и определяются экспериментально. Поэтому реальная рабочая (фактическая) точка нагнетателя определяется параметрами:

$$\begin{aligned} E_{пр}^\phi &= E_{пр} - (1 - K_E) E_{баз}, \\ \eta^\phi &= \eta_n - (1 - K_\eta) \eta_{баз}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $E_{баз}$  и  $\eta_{баз}$  – базовые (каталожные) значения степени сжатия и КПД соответственно для каждого типа нагнетателя;  $K_E$  и  $K_\eta$  – коэффициенты приведения паспортных характеристик  $E_n = f(V_{пр})$  и  $\eta_n = f(V_{пр})$  соответственно к реальным.

Давление газа на выходе из группы нагнетателей определяется выражением

$$p_{вых}^{ЦБН} = E_{пр}^\phi \cdot p_{вх}^{ЦБН}. \quad (4)$$

Фактическая температура газа на выходе из нагнетателя

$$T_{\text{ВЫХ}}^{\text{ЦБН}} = T_{\text{ВХ}}^{\text{ЦБН}} \cdot E_{\text{пр}}^{\frac{\phi^{\kappa-1}}{\kappa} \cdot \frac{1}{\eta^{\phi}}} \quad (5)$$

Внутренняя мощность нагнетателя

$$N_i = 4 \frac{\kappa}{\kappa - 1} Z_{\text{ВХ}} V_{\kappa} (T_{\text{ВЫХ}}^{\text{ЦБН}} - T_{\text{ВХ}}^{\text{ЦБН}}) \quad (6)$$

где  $Z_{\text{ВХ}}$  – коэффициент сжимаемости газа по параметрам на входе.

В результате электрическая мощность, затрачиваемая на привод  $i$ -го нагнетателя, определяется соотношением

$$N_{\text{эд}} = \frac{(N_i + N_{\text{ВОЗ}} + N_{\text{МЕХ}})}{\eta_{\text{эд}}} \quad (7)$$

где  $N_{\text{ВОЗ}}$ ,  $N_{\text{МЕХ}}$  – соответственно потери мощности на возбуждение и передачи механической мощности от двигателя к нагнетателю;  $\eta_{\text{эд}}$  – КПД электродвигателя.

Математическая модель аппаратов воздушного охлаждения газа основана на теоретической зависимости естественной и вынужденной конвекции в трубчатых теплообменных аппаратах. Поскольку в каждом АВО установлено по два вентилятора, то при рассмотрении секции необходимо площадь установки поделить пополам [20]. В результате получаем модель, позволяющую найти температуру газа на выходе АВО при любом сочетании секций с включенными и отключенными вентиляторами,

$$t_{\text{ВЫХ}}^{\text{АВО}} = \frac{n_{\text{ex}}^{2\text{вен}} \cdot t_2^{2\text{вен}} + n_{\text{ex}}^{1\text{вен}} \cdot t_2^{1\text{вен}} + n_{\text{ex}}^{0\text{вен}} \cdot t_2^{0\text{вен}}}{n_{\text{ex}}^{2\text{вен}} + n_{\text{ex}}^{1\text{вен}} + n_{\text{ex}}^{0\text{вен}}}, \quad (8)$$

где  $t_2^{2\text{вен}}$ ,  $t_2^{1\text{вен}}$ ,  $t_2^{0\text{вен}}$  – температура газа на выходе из секции, где работает два вентилятора, один вентилятор и вентилятор не работает соответственно;  $n_{\text{ex}}^{2\text{вен}}$ ,  $n_{\text{ex}}^{1\text{вен}}$ ,  $n_{\text{ex}}^{0\text{вен}}$  – количество секций АВО, где работают два вентилятора, один вентилятор и вентилятор выключен соответственно.

Давление газа на выходе из АВО составляет

$$p_{\text{ВЫХ}}^{\text{АВО}} = p_{\text{ВХ}}^{\text{АВО}} - \Delta p, \quad (9)$$

где  $\Delta p$  – гидравлическое сопротивление аппарата, состоящее из сопротивления трения, местных сопротивлений и сопротивления на ускорение потока, связанное с изменением плотности среды от входа к выходу.

Мощность, потребляемая электродвигателем вентилятора АВО, составляет

$$N_{\text{ВЫХ}} = \frac{V_{\text{ВОЗ}}^{\phi} \Delta p_{\text{ст}}}{\eta_{\text{вен}} \eta_{\text{эд}} \eta_{\text{р}}}, \quad (10)$$

где  $V_{\text{ВОЗ}}^{\phi}$  – количество воздуха, перемещаемого вентилятором;  $\Delta p_{\text{ст}}$  – перепад статического давления воздуха;  $\eta_{\text{вен}}$ ,  $\eta_{\text{эд}}$ ,  $\eta_{\text{р}}$  – КПД вентилятора (при заданном угле установки лопастей), электродвигателя и редуктора соответственно.

Для расчета теплоотдачи со стороны воздуха при вынужденной конвекции (включен вентилятор АВО) необходимо наиболее полно учитывать особенности теплоотдачи от ребренной поверхности к воздуху в соответствии с выражением

$$\text{Nu}_g = 0,223 \text{Re}_g^{0,65} \cdot \left( \frac{d_{\text{тр}}}{u_p} \right)^{-0,54} \cdot \left( \frac{h_p}{u_p} \right)^{-0,14}, \quad (11)$$

где  $d_{\text{тр}}$  – диаметр трубок у основания ребра;  $u_p$  – шаг между ребрами;  $h_p$  – высота ребер.

Для расчета теплоотдачи от газа к стенкам трубок АВО используется традиционное критериальное уравнение для турбулентного течения газа в трубе, которое адаптировано для реальных процессов охлаждения газа. Так, при расчете количества воздуха, перемещаемого

вентилятором, введен поправочный коэффициент  $K_R$ , учитывающий утечки воздуха через щели между секциями

$$V_{\text{воз}}^{\phi} = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_{\text{ст}}^2) v_{\text{в.ср}} K_R, \quad (12)$$

где  $d_0, d_{\text{ст}}$  – диаметры обечайки и ступицы вентилятора;  $v_{\text{в.ср}}$  – средняя скорость воздуха в сечении входного конфузора.

Для повышения достоверности расчета реальных параметров в уравнение теплопередачи необходимо ввести коэффициент  $K_S$ , учитывающий загрязнение межреберного пространства секций АВО

$$Q_2 = \frac{k\theta F}{2} \cdot K_S, \quad (13)$$

где  $Q_2$  – количество теплоты, отведенной от газа;  $\theta$  – среднелогарифмический температурный напор;  $F$  – общая наружная площадь теплообменника с двумя вентиляторами;  $k$  – коэффициент теплопередачи, определяемый выражением

$$k = \left( \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{d_{\text{тр}} - d_{\text{вн}}}{2\lambda_{\text{ст}}} \frac{\varphi \cdot d_{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{г}}} \frac{\varphi \cdot d_{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}} \right) \cdot K_Z, \quad (14)$$

где  $d_{\text{тр}}, d_{\text{вн}}$  – диаметры трубок соответственно у основания ребра и внутренний;  $\alpha_{\text{в}}, \alpha_{\text{г}}$  – коэффициенты теплоотдачи по воздуху и газу соответственно;  $\lambda_{\text{ст}}$  – теплопроводность стенки;  $\varphi$  – коэффициент оребрения;  $K_Z$  – поправочный коэффициент, учитывающий внутреннее загрязнение трубок.

Экспериментально установлено, что все перечисленные поправочные коэффициенты принимают следующие значения:  $K_R = 1,0 \div 0,6$ ;  $K_S = 1,0 \div 0,55$ ;  $K_Z = 1,0 \div 0,85$ . Однако наибольшую сложность вызывает определение коэффициента  $K_S$ , который с увеличением загрязнений трубок АВО с воздушной стороны уменьшается из-за снижения разницы между температурами газа и стенки трубок.

*Математическая модель участка газопровода между двумя КС* основана на методиках аэродинамического и теплового расчета и предназначена для определения падения давления и температуры газа по длине трубопровода.

Как показал анализ сопоставления различных эмпирических выражений с эксплуатационными характеристиками рассматриваемых МГ, наилучшую корреляцию с экспериментальными данными дают результаты расчетов конечной температуры на выходе линейного участка по уравнению

$$t_{\text{вых}}^{\text{ЛУГ}} = t_{\text{гр}} + (t_{\text{вх}} - t_{\text{гр}}) e^{-aL} - \left[ D_i \frac{p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}}}{a} - \frac{9,81 \cdot \Delta Z}{a C_p} \right] \cdot (1 - e^{-aL}), \quad (15)$$

где  $a = \frac{3,14KD}{V_{\text{г}} \rho_{\text{г}} C_p}$  – параметр или критерий Шухова;  $K$  – коэффициент теплопередачи;  $D, L$  –

наружный диаметр и длина трубопровода соответственно;  $V_{\text{г}}$  – объем перекачиваемого газа,  $C_p$  – изобарная теплоемкость газа;  $\rho_{\text{г}}$  – плотность газа;  $\Delta Z$  – разность конечной и начальной отметок участка газопровода;  $t_{\text{гр}}, t_{\text{вх}}$  – температура грунта газа в начале трубопровода соответственно;  $D_i = C_p^{-1} \cdot (0,98 \cdot 10^6 T_{\text{ср}} - 1,5)$  – коэффициент Джоуля-Томпсона;  $p_{\text{вх}}, p_{\text{вых}}$  – давление в начале и в конце газопровода соответственно.

Давление газа на выходе из линейной части МГ вычисляется по формуле

$$p_{\text{вых}}^{\text{ЛУГ}} = \sqrt{p_{\text{вх}}^2 - \frac{\lambda \Delta Z_{\text{ср}} T_{\text{ср}} L V_k^2}{(105,087 d^{2,5})^2}}, \quad (16)$$

где  $d$  – внутренний диаметр газопровода;  $p_{\text{вх}}$  – абсолютное давление в начале участка газопровода;  $\Delta$  – относительная плотность газа по воздуху;  $T_{\text{ср}}$  – средняя по длине участка МГ

температура транспортируемого газа;  $Z_{cp}$  – средний по длине газопровода коэффициент сжимаемости газа;  $\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления участка МГ, который рассчитывается через произведение экспериментального коэффициента  $K_{MC}$  на коэффициент сопротивления трению  $\lambda_{тр}$ . Для реальных МГ  $K_{MC} = 1,25 \div 1,47$ , а

$$\lambda_{тр} = 0,067 \left( \frac{158}{Re} + \frac{2\kappa_3}{d} \right)^{0,2}, \quad (17)$$

где  $\kappa_3$  – эквивалентная шероховатость труб, диапазон изменения которой определяется в ходе получения эксплуатационных характеристик каждого из рассматриваемых трубопроводов.

### Алгоритм системной оптимизации энергопотребления КС

Полученные математические модели теплоэнергетической системы сжатия, охлаждения и передачи газа по трубопроводам являются центральным звеном процедурного алгоритма (рис. 9) выбора оптимальных параметров энергопотребления на выходе с каждой КС.

Математическое моделирование теплоэнергетической системы сжатия, охлаждения и передачи газа по трубопроводам относится к задачам нелинейного программирования. Для решения таких задач наиболее подходит усовершенствованный алгоритм прямого поиска возможных направлений, в основе которого лежит метод системной оптимизации, решающий нелинейные задачи без ограничений или с ограничениями типа неравенств.

Основными оптимизируемыми параметрами являются давление и температура газа после АВО на выходе  $i$ -й КС. В процессе оптимизации изменение параметров происходит в зависимости от вариаций переменных:

- количества работающих нагнетателей с учетом дискретного или плавного регулирования их скорости вращения;
- фактических величин скорости вращения и момента на валу каждого нагнетателя;
- количества включенных вентиляторов АВО газа с учетом дискретного или плавного регулирования их скорости вращения (синхронно или индивидуально).

Диапазон изменения оптимизируемых параметров может быть ограничен в связи с пропускной способностью МГ и температурными ограничениями. Так, в реальных условиях эксплуатации температура газа на входе в МГ ограничена диапазоном  $t_{\min} \leq t_i \leq t_{\max}$ , где  $t_{\min}$  – минимально-допустимая температура газа по условию недопущения выпадения гидрантов на стенках труб,  $t_{\max}$  – минимально допустимая температура газа по условию недопущения повреждения противокоррозионной изоляции трубопровода.

В качестве критерия оптимизации целесообразно использовать показатель минимума расхода электроэнергии во всей теплоэнергетической системе сжатия, охлаждения и передачи газа по трубопроводам.

В результате исследований, например, влияния процесса охлаждения газа на энергетическую эффективность МГ установлено, что:

- снижение температуры газа на выходе КС носит позитивный характер, связанный со снижением аэродинамических потерь давления газа между соседними КС и с уменьшением удельных затрат энергии на компримирование на последующей КС;
- более глубокое охлаждение газа в АВО, достигаемое включением дополнительных вентиляторов, приводит к увеличенному потреблению электроэнергии.

При системном моделировании трех КС с увеличением числа включенных вентиляторов АВО от 0 до 32 на КС-1 снижается температура газа на её выходе, что приводит к повышению давления на входе КС-3. Но энергетический и экономический эффекты от охлаждения газа получаются только в том случае, когда поддерживается постоянное давление на выходе из системы (КС-3). Причем для каждой температуры окружающего воздуха имеется свой минимум потребления электроэнергии, достигая экономии до 2670 МВт·ч в месяц или порядка 4 млн руб.

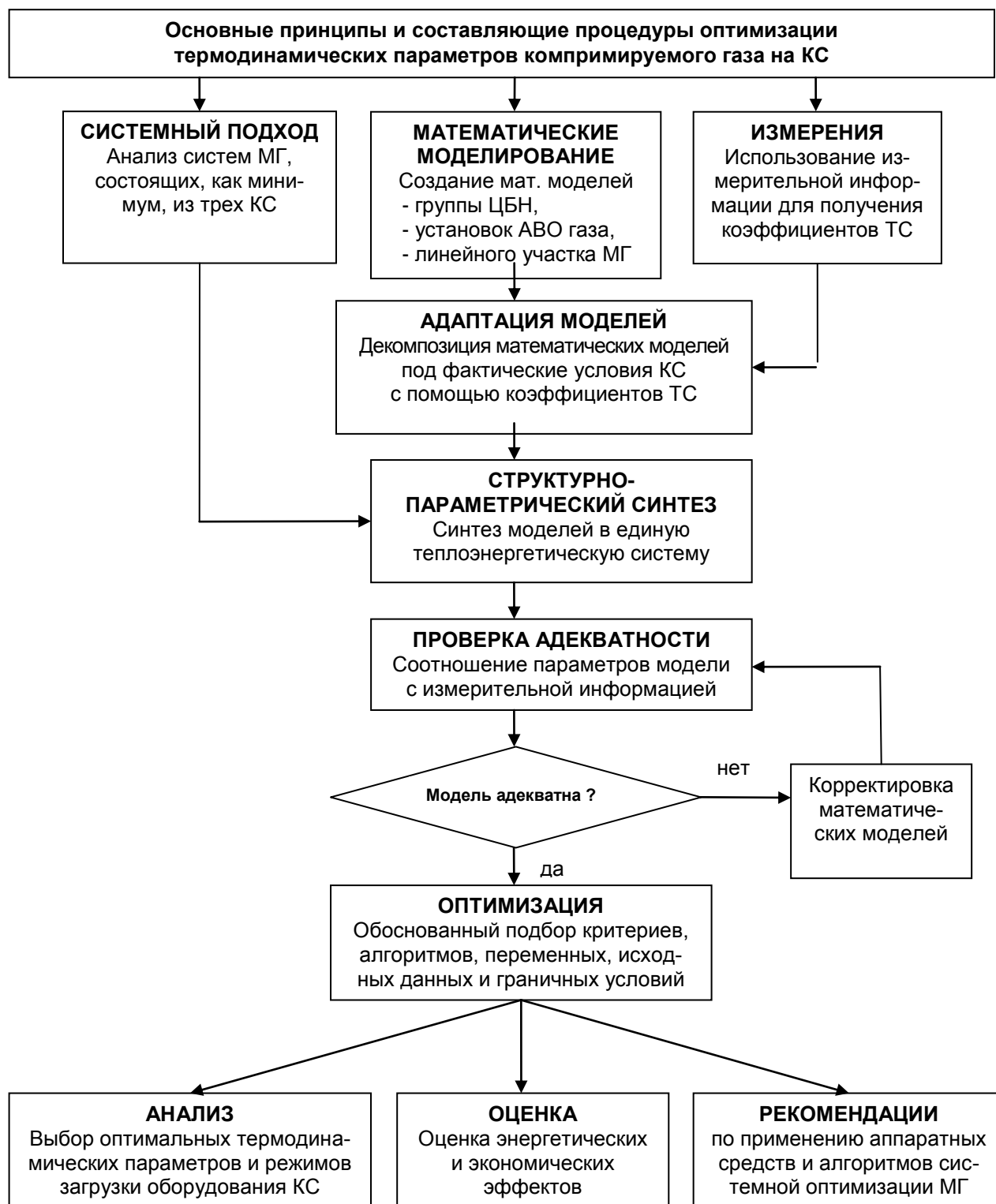


Рис. 9. Блок-схема процедурного алгоритма выбора оптимальных параметров энергопотребления МГ с учетом взаимодействия агрегатов КС

### Выводы

Разработанный процедурный алгоритм и математические модели позволяют определять оптимальные термодинамические параметры компримируемого газа для любых современных КС. Однако практическая реализация данной системной оптимизации предполагает наличие автоматизированных систем стабилизации внутренних и выходных параметров на базе регулируемых электроприводов агрегатов каждой КС, внедрение которых требует дополнительного технико-экономического обоснования.

## Библиографический список

1. **Пужайло, А.Ф.** Энергосбережение а агрегатах компрессорных станций средствами частотно-регулируемого электропривода / А.Ф. Пужайло, О.В. Крюков, И.Е. Рубцова // Наука и техника в газовой промышленности. – 2012. – № 2 (50). – С. 98–106.
2. **Хлынин, А.С.** Реализация факторов энергоэффективности электроприводных газоперекачивающих агрегатов в проектах / А.С. Хлынин, О.В. Крюков // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2014. – Т. 1. – № 2. – С. 32–37.
3. **Milov, V.R.** Intellectual management decision support in gas industry / V.R Milov., B.A. Suslov, O.V. Kryukov // Automation and Remote Control. – 2011. – Т. 72. – № 5. – С. 1095–1101.
4. **Крюков, О.В.** Принципы построения инвариантных электроприводов энергетических объектов / О.В. Крюков, А.В. Горбатушков, С.Е. Степанов // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды IV ВНИПК. – Новокузнецк, 2010. – С. 38–45.
5. **Крюков, О.В.** Опыт создания энергоэффективных электроприводов газоперекачивающих агрегатов // Труды VIII Междунар. (XIX Всероссийской) конф. по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. – Саранск, 2014. – С.157–163.
6. **Васенин, А.Б.** Анализ технико-экономических параметров энергетических установок для объектов Газпром / А.Б.Васенин, О.В. Крюков, В.В. Титов // Приводная техника. – 2011. – № 6. – С. 2–11.
7. **Бабичев, С.А.** Анализ технического состояния и безопасности электроприводных газоперекачивающих агрегатов / С.А. Бабичев, Е.В. Бычков, О.В. Крюков // Электротехника. – 2010. – № 9. – С. 30–36.
8. **Крюков, О.В.** Сравнительный анализ приводной техники газоперекачивающих агрегатов // Приводная техника. – 2010. – № 5. – С. 2–11.
9. **Крюков, О.В.** Анализ моноблочных конструкций электрических машин для газоперекачивающих агрегатов // Машиностроение: сетевой научный журнал. – 2015. – Т. 3. – № 4. – С. 53–58.
10. **Васенин, А.Б.** Алгоритмы управления электромеханическими системами магистрального транспорта газа / А.Б. Васенин, О.В. Крюков, А.В. Серебряков // Труды VIII Междунар. (XIX Всероссийской) конф. по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. – Саранск, 2014. – Т. 2. – С. 404–409.
11. **Babichev, S.A.** Automated monitoring system for drive motors of gas-compressor units / S.A. Babichev, P.A.Zakharov, O.V. Kryukov // Automation and Remote Control. – 2011. – V. 72. – №. 6. – С. 175–180.
12. **Kadin, S.N.** Questions related to the development of metrological assurance in the design of Gazprom facilities / S.N. Kadin [et al.] // Measurement Techniques. 2011. V. 54. – №. 8. – С. 944–952.
13. **Крюков, О.В.** Методы синтеза встроенных систем прогнозирования технического состояния высоковольтных двигателей / О.В. Крюков, А.В. Серебряков // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии: материалы МНТК (XVIII Бенардосовские чтения). – Иваново, 2015. – С. 69–73.
14. **Крюков, О.В.** Диагностика электромеханической части энергетических установок / О.В. Крюков, А.В. Серебряков, А.Б. Васенин // Электромеханические и энергосберегающие системы. – 2012. – № 3 (19). – С. 549–552.
15. **Крюков, О.В.** Экспериментальный стенд электромеханической части энергетической установки / О.В. Крюков, А.Б. Васенин, А.В. Серебряков // Приводная техника. – 2012. – №4. – С. 2-13.
16. **Крюков, О.В.** Прикладные задачи теории планирования эксперимента для инвариантных объектов газотранспортных систем // Идентификация систем и задачи управления: труды IX Междунар. конф. SICPRO`12. – 2012. – С. 222–236.
17. **Захаров, П.А.** Принципы инвариантного управления электроприводами газотранспортных систем при случайных возмущениях / П.А. Захаров, О.В. Крюков // Вестник ИГЭУ. – 2008. – № 2. С. 98–103.
18. **Захаров, П.А.** Методология инвариантного управления агрегатами компрессорных станций при случайных воздействиях/ П.А. Захаров, О.В. Крюков // Изв. вузов. Электромеханика. – 2009. – № 5. – С. 64–70.
19. **Крюков, О.В.** Инвариантные системы технологически связанных электроприводов объектов магистральных газопроводов / О.В. Крюков, С.Е. Степанов, Е.В. Бычков // Труды VIII Меж-



- дунар. (XIX Всероссийской) конф. по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. – Саранск, 2014. – С. 409–414.
20. **Крюков, О.В.** Оптимальное управление технологическим процессом магистрального транспорта газа // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 4602–4613.
21. **Крюков, О.В.** Моделирование и микропроцессорная реализация электромеханических систем // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – Т. 2. – № 3. – С. 55–61.
22. **Крюков, О.В.** Регрессионные алгоритмы инвариантного управления электроприводами при стохастических возмущениях // Электричество. – 2008. – № 9. – С. 45–51.
23. **Серебряков, А.В.** Нечеткие модели и алгоритмы управления энергетическими установками / А.В.Серебряков, О.В. Крюков, А.Б. Васенин // Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах: мат. конф. – М., – 2012. – С. 467–469.

*Дата поступления  
в редакцию 02.02.2017*

**O.V. Kryukov**

## **ANALYTICAL MODELS OF GAS TRANSPORT**

JSC "Giprogaztsentr" (Nizhny Novgorod)

Analytical models of energy efficient transport of natural gas on the main gas pipelines are considered. The scheme and modern technical means of optimization of costs of transport of gas and control algorithms of technological installations of compressor stations and line sections of gas transmission systems is offered.

*Key words:* Energy efficiency, main gas pipelines, electrodriving compressor stations, optimum models of technological sites.

УДК 621.12

С.Н. Зеленов, П.В. Семашко

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОГО СЧЕТЧИКА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

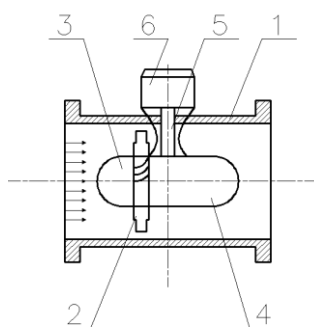
Найдено техническое решение по выбору рациональных формы и размеров внутренних обтекателей создаваемой конструкции газового счетчика. Показаны особенности течения газов в его проточной части, позволившие улучшить условия работы вращающегося лопаточного измерительного устройства счетчика серии СГ 16.

*Ключевые слова:* газовый счетчик, вращающееся лопаточное устройство, гидравлическое сопротивление, коэффициент потерь.

### Введение

АО «Арзамасский приборостроительный завод им. П.И. Пландина» выпускает газовые счетчики серии СГ, которые устанавливаются в узлах учета магистральных трубопроводов высокого давления, распределительных сетях среднего и низкого давления и предназначены для измерения объема плавномменяющихся потоков очищенных неагрессивных одно- и многокомпонентных газов (природный газ, воздух, азот, аргон и другие с плотностью при нормальных условиях не менее  $0,67 \text{ кг/м}^3$ ). Эти счетчики газа применяются в установках промышленных и коммунальных предприятий для учета при коммерческом и технологическом учете.

Согласно техническому заданию, выданному АО «АПЗ», в газодинамической лаборатории кафедры «Энергетические установки и тепловые двигатели» НГТУ им. Р.Е. Алексеева были выполнены газодинамические испытания вновь создаваемого на предприятии газового счетчика, конструкция которого представлена на рис. 1. Целью исследований являлось нахождение рациональных конструкций внутренних обтекателей 3 и 4, обеспечивающих улучшение условий работы вращающегося лопаточного устройства 2 и создающих минимальное гидравлическое сопротивление потоку газа. В ходе испытаний форма и размер обтекателей подвергались изменениям.



**Рис. 1. Схема счетчика газа:**

1 – корпус; 2 – лопаточное колесо; 3 – передний обтекатель; 4 – задний обтекатель;  
5 – кинематическая передача; 6 – счетное устройство

Исследования проводились на специальном стенде для газодинамических испытаний элементов турбомашин кафедры. Во время испытаний воздух забирался из помещения лаборатории центробежным нагнетателем типа Ц10-28 №5, на входе которого устанавливался испытуемый газовый счетчик. В установке предусматривалась возможность измерения и регулирования расхода воздуха в пределах от 0 до 2 кг/с, что соответствует режиму течения с

числом Рейнольдса до  $Re=2 \cdot 10^5$ . Траверсирование (измерение полей скорости и давления) входного и выходного сечений газового счетчика осуществлялось при помощи специального датчика-зонда. Входные параметры измерялись непосредственно перед фланцем (сеткой) счетчика, а выходные - в 30 мм от его кормового фланца через специальные уплотняемые радиальные отверстия. Относительная погрешность определения значений давления и скорости при принятой схеме измерений и оборудования не превышает 2%.

### Результаты экспериментального исследования аэродинамических характеристик газового счетчика и его элементов

В качестве критерия аэродинамического совершенства прочной части газового счетчика использовался коэффициент гидравлических (полных) потерь  $\zeta$ , определяемый по формуле

$$\zeta = \frac{\Delta P^*}{\frac{\rho \omega_{\text{ср}}^2}{2}},$$

где  $\Delta P^*$  - потери полного давления (Па);  $\rho$  - плотность газа ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );  $\omega_{\text{ср}}$  - средняя скорость газа на входе в счетчик (м/с). Средняя по проходному сечению скорость определялась с учётом значений расходных составляющих

$$\omega_{\text{ср}} = \sum_1^n \omega_i \frac{F_i}{F_{\Sigma}},$$

где  $\omega_i$  - среднее значение скоростей (условно постоянных) в  $n$  концентрических кольцевых площадях  $F_i$ ;  $F_{\Sigma}$  - общая площадь проходного сечения,  $F_{\Sigma} = \pi d^2/4$ ;  $d$  - диаметр цилиндрической проточной части счетчика.

Значение коэффициента потерь входной сетки и кольцевого вращающегося лопаточного счетного устройства, состоящего из двух облопаченных дисков, определялись отдельно. Их величины составили  $\zeta_{\text{с}} = 4,5$  и  $\zeta_{\text{лд}} = 2,0$  соответственно.

Схемы предложенных конструкций обтекателей показаны на рис. 2 – рис. 10 (на рисунках ребра жесткости и крепежные стойки не показаны), а результаты испытаний приведены в табл. 1. На рисунках также показаны поля относительных скоростей до и после обтекателей, при этом относительная скорость определяется по соотношению  $\bar{\omega} = \frac{\omega_i}{\omega_{\text{ср}}}$ , где  $\omega_i$  - местное значение скорости;  $\omega_{\text{ср}}$  - средняя скорость потока газа. Отметим, что при траверсировании поток имел осевое направление в пределах чувствительности датчиков (+/- 10%).

Как показали результаты испытаний (рис. 2) наличие входной сетки несколько изменяет поле скоростей, но это изменение незначительно. В случае использования сетки с более крупной ячейкой сопротивление её существенно уменьшается (при отношении площади «живого» проходного сечения к общей площади, равном 0,5) значение  $\zeta_{\text{с}} = 1$ .

Относительно небольшие потери вращающегося лопаточного устройства позволяют в случае необходимости несколько увеличить число рабочих лопаток.

Обрезание цилиндрической части штатных обтекателей на ~ 50 мм осуществлялось до начала рёбер жесткости (сферической части) с дальнейшей их фиксацией в корпусе счетчика при помощи технического пластилина. Носовой и кормовой обтекатели параболической формы изготавливались из технического пластилина. Профиль этих параболических элементов в натуральную величину приведен на рис. 11 (размер координатной сетки 1 см).

Следует отметить, что использование носового обтекателя расширенно-суженной формы (рис. 6 и рис. 7) существенно увеличивает гидравлическое сопротивление счетчика, так как почти вдвое суживает и без того крайне стесненное проходное сечение, поэтому его применение следует признать нецелесообразным.

Таблица 1

## Результаты испытаний конструкций газового счетчика

№ рис.	Величина коэффициента потерь		
	без сетки и вращающегося лопаточного устройства	с сеткой и без вращающегося лопаточного устройства	с сеткой и вращающимся лопаточным устройством
2	7,3	11,8	13,8
3	4,5	9	11
4	4,3	8,8	10,8
5	1,8	6,3	8,3
6	16,5	21	23
7	14,9	19,4	21,4
8	6,1	10,6	12,6
9	6,5	11	13
10	5	9,5	11,5

Известно, что при протекании газов по узким кольцевым каналам потери давления существенно зависят от длины этих участков. Результаты исследований показывают, что уменьшение длины этих каналов (обрезание цилиндрических частей обтекателей) приводит к значительному уменьшению потерь.

Что касается формы обтекателей, то применение параболических элементов не привело к снижению потерь по сравнению с полусферическими (без цилиндрической части). Это можно объяснить тем, что при имеющихся место значениях чисел Рейнольдса потери на трение в суженном кольцевом канале удлиненных обтекателей превышают потери, возникающие в вихревых зонах отрыва потока при обтекании полусфер.

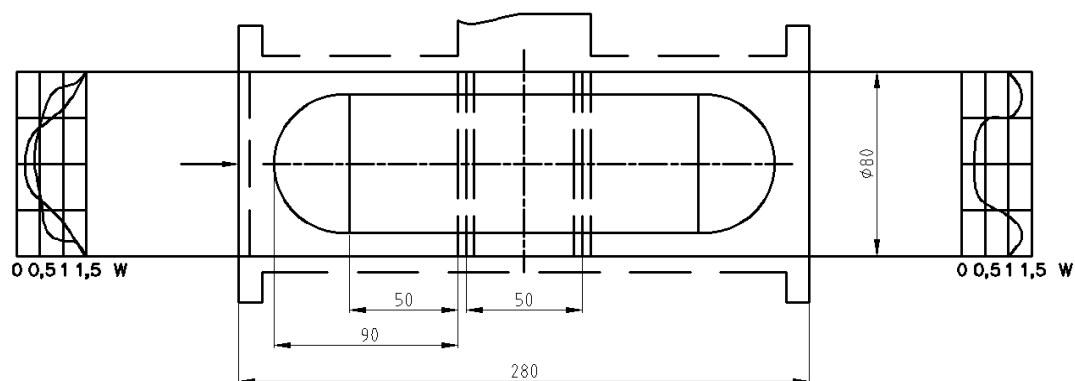


Рис. 2. Конструкция с двумя цилиндрическими обтекателями

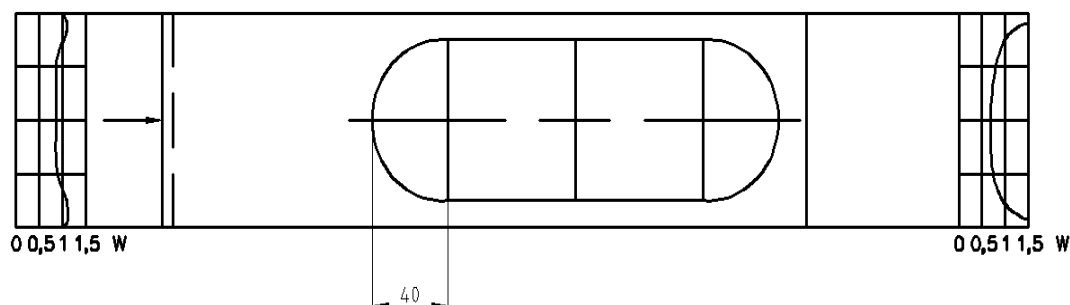


Рис. 3. Конструкция с полусферическим носовым и цилиндрическим кормовым обтекателями

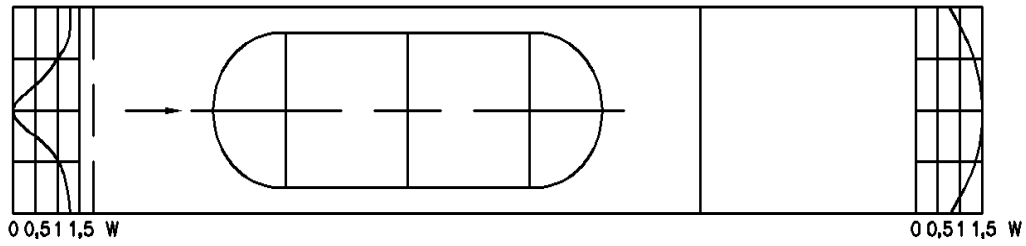


Рис. 4. Конструкция с цилиндрическим носовым полусферическим кормовым обтекателем

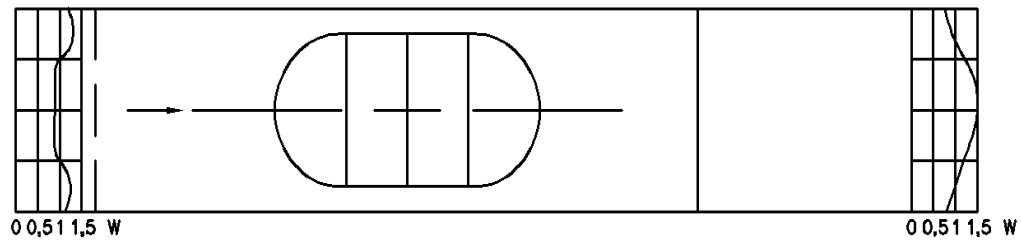


Рис. 5. Конструкция с двумя полусферическими обтекателями

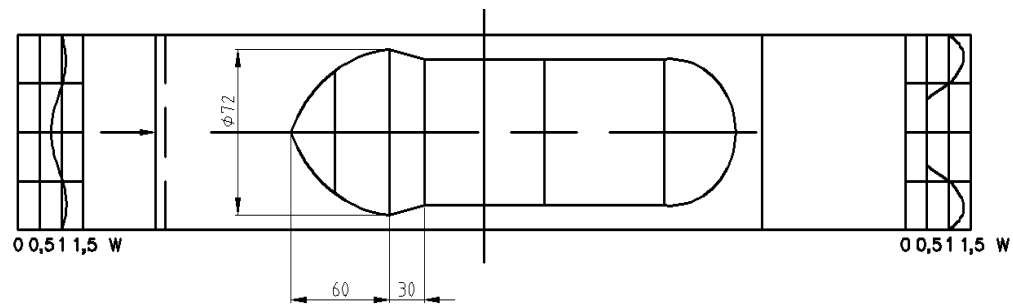


Рис. 6. Конструкция с расширенно – суженным носовым и цилиндрическим кормовым обтекателями

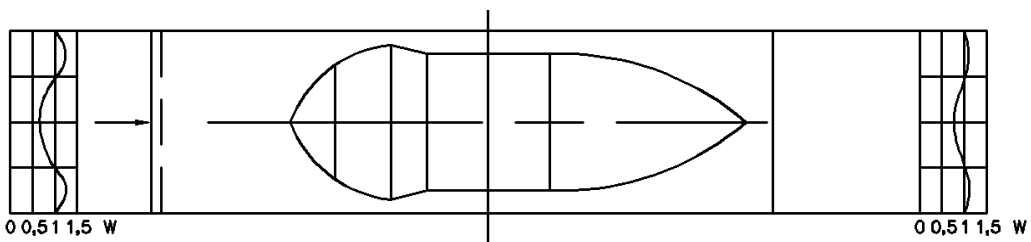


Рис. 7. Конструкция с расширенно – суженным носовым и параболическим кормовым обтекателем

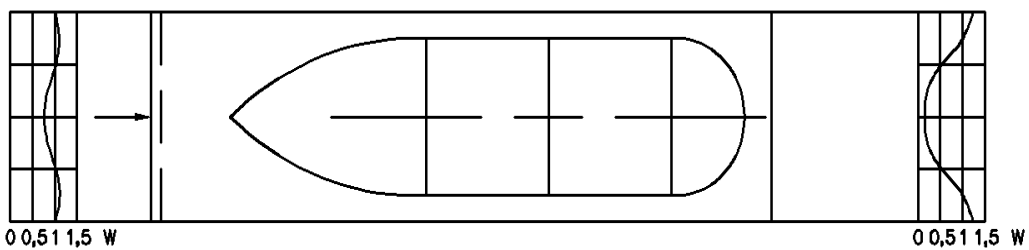
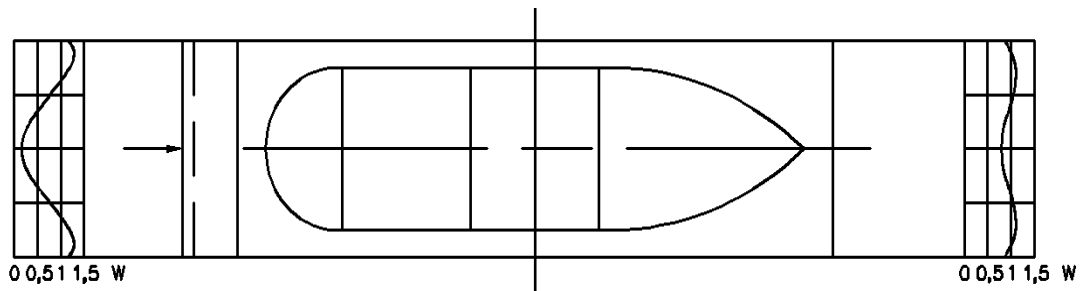
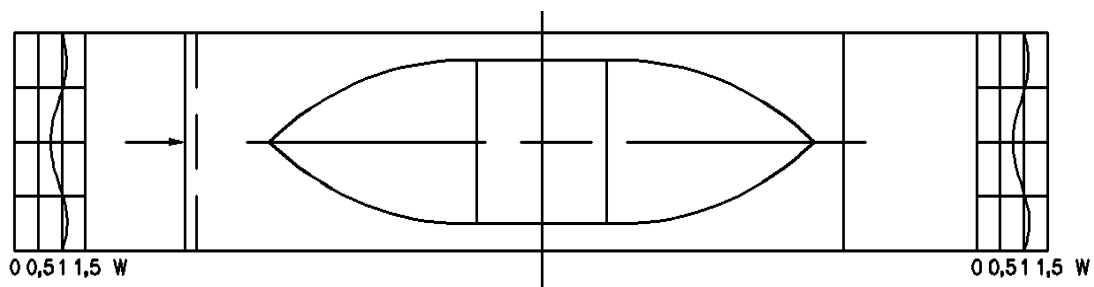


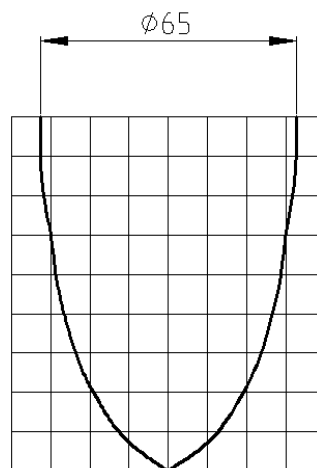
Рис. 8. Конструкция с параболическим носовым и цилиндрическим кормовым обтекателями



**Рис. 9. Конструкция с цилиндрическим носовым и параболическим кормовым обтекателями**



**Рис. 10. Конструкция с двумя параболическими обтекателями**



**Рис. 11. Форма профиля параболического обтекателя**

### Выводы

При разработке рациональной конструкции внутренних обтекателей газового счетчика были использованы результаты аэродинамических экспериментов, которые позволили сделать следующие выводы:

- использование штатного носового обтекателя расширенно-суженной формы нецелесообразно, так как почти вдвое увеличивает гидравлические потери счетчика по сравнению с штатными цилиндрическими обтекателями;
- удаление цилиндрических частей штатных обтекателей (при оставлении только полушфер перед и за лапачным вращающимся устройством) позволяет уменьшить потери давления более, чем на 40%;
- использование входной сетки с более крупной ячейкой (с отношением площадей «живого» проходного сечения к общей площади более 0.5) позволит существенно (почти в три раза) снизить гидравлическое сопротивление этого элемента;

- имеющие место относительно небольшие потери (по сравнению с другими элементами) вращающегося лопаточного аппарата позволяют несколько (на  $\sim 30\text{--}50\%$ ) увеличить число лопаток для более стабильной работы счетного привода.

В заключение необходимо отметить, что результаты проведенных исследований были использованы АО АПЗ при создании счетчика газа серии СГ16МТ-Р. Этот счетчик газа, как отмечено в рекламной информации предприятия, «имеет оригинальную конструкцию входного стабилизатора потока газа, благодаря чему при минимальной длине прямых участков до и после счетчика, равной  $2D_y$  и  $1D_y$ , обеспечивается высокая метрологическая стабильность».

*Дата поступления  
в редакцию 09.02.2017*

**S.N. Zelenov, P.V. Semashko**

## **AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF GAS COUNTER**

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

It is found the technical solution by the selection of the rational of form and sizes of the inner cowls of the created construction of gas counter. The special features of the flow of gases in its flow area, which made it possible to improve the conditions for the work of the revolving blade measuring device of the counter of a series SG 16.

*Key words:* gas counter, the revolving blade device, hydraulic resistance, loss factor.

## НАШИ АВТОРЫ

### ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

**Гурский Николай Николаевич** – канд. техн. наук, доцент Белорусского национального технического университета;  
nic\_nic.by@mail.ru.

**Дмитриева Наталья Глебовна** – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
city\_nn@mail.ru

**Довнар Сергей Станиславович** – студент Белорусского национального технического университета;  
dovser94@gmail.com.

**Дубик Елена Андреевна** – канд. эконом. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
k-romanova@list.ru

**Дымчаков Илья Игоревич** – начальных группы автоматизированных систем управления ресурсами предприятия, отдела информационных систем АО «Нижегородский завод 70-летия Победы»;  
dymchakov@mail.ru

**Ерофеева Лариса Николаевна** – канд. физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
vm@nntu.ru

**Нефёдов Алексей Александрович** – НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
alexey.nefedov199321@yandex.ru

**Панов Алексей Юрьевич** – д-р техн. наук, профессор, директор ИПТМ НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
fam@nntu.nnov.ru

**Сергеева Татьяна Федоровна** - Нижегородская государственная медицинская академия  
vm@nntu.nnov.ru

**Скудняков Юрий Александрович** – канд. техн. наук, доцент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники;  
juri\_alex@tut.by.

**Супруненко Александр Владимирович** - ст. преподаватель НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
suprunenco@gmail.com

**Трофимов Сергей Михайлович** – инженер по качеству АО ЦКБ «Лазурит»;  
Sergei\_trofimov93@mail.ru

**Мошкова Альбина Николаевна** – д-р биол. наук, профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
vm@nntu.nnov.ru

**Мохнина Наталья Вячеславовна** – канд. физ.-мат. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева; vm@nntu.ru

**Умяров Сабит Хамзатович** – главн. конструктор АО ЦКБ «Лазурит»;  
cdb@cdb-lazurit.ru

**Фазлиев Дамир Нурисламович** – магистрант НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
fazliev.nn@gmail.com

**Шашкова Наталья Вячеславовна** – канд. филолог. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
nv.shashkova@gmail.com

**Щитова Дарья Вадимовна** – студент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
dasha022901@gmail.com

**Юрова Надежда Вячеславовна** – ст. преподаватель НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
vm@nntu.ru

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

**Бокова Татьяна Александрович** – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
tatabo@bk.ru

**Безносков Александр Викторович** – д-р техн. наук, профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
beznosov@nntu.ru

**Вихорев Николай Николаевич** - аспирант, инженер НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
nvvikhorev@gmail.com

**Гардин Александр Иванович** – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
gardin\_nn@rambler.ru

**Гедифа Ахмед** – аспирант НГТУ им. Р.Е. Алексеева, инженер АО «Электроинтел», инженер в промышленной зоне в Мсиле (Алжир);  
ghedifa@mail.ru



**Дмитриев Сергей Михайлович** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, ректор НГТУ им. Р.Е.Алексеева;  
436-23-25, rectorat@nntu.nnov.ru

**Десятников Валерий Евгеньевич** – канд. техн. наук, инженер-испытатель подразделения 130; «ОКБМ им. И.И. Африкантова»; okbm@okbm.nnov.ru.

**Добров Александр Алексеевич** – ассистент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
a.a.dobrov@yandex.ru

**Жирнова Тамара Александровна** – ведущий инженер-технолог сектора антикоррозионных покрытий НИИИС им. Ю. Е. Седакова; 469-51-35

**Зудин Артём Дмитриевич** – аспирант, инженер НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
artemzudin@gmail.com

**Исаев Александр Валерьевич** – канд. техн. наук, начальник отдела антикоррозионных покрытий НИИИС им. Ю. Е. Седакова; 469-51-35

**Исаев Валерий Васильевич** – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р. Е. Алексеева 436-93-58.

**Иксанова Гюзель Шамильевна** – начальник бюро подразделения 48 АО «ОКБМ им. И.И. Африкантова»  
legchanov@mail.ru

**Козлов Антон Александрович** – магистрант, техник НГТУ им. Р.Е. Алексеева; 436-80-23

**Коробов Дмитрий Викторович** -инженер-испытатель подразделения 130; «ОКБМ им. И.И. Африкантова»; 246-95-93.

**Капустин Сергей Андреевич** – магистрант НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
raevsky@nntu.ru,

**Логачев Алексей Евгеньевич** – техник ОАО «НИАЭП»;  
lalex1627@gmail.com

**Мелузов Александр Георгиевич** – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
meluzov@mail.ru

**Мартынова Кристина Андреевна** – магистрант НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
kristina-m2014@rambler.ru

**Малахов Василий Алексеевич** – д-р техн. наук, профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
raevsky@nntu.ru,

**Малышев Григорий Сергеевич** – инженер АО «ОКБ машиностроения имени И.И. Африкантова»;  
raevsky@nntu.ru

**Михаленко Михаил Григорьевич** – д-р техн. наук, профессор, директор ИФХТиМ НГТУ им. Р. Е. Алексеева;  
436-93-58.

**Новожилова Ольга Олеговна** – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
rojoelf@gmail.ru

**Раевский Алексей Сергеевич** – д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
raevsky\_as@mail.ru

**Садиков Дмитрий Геннадьевич** – инженер 1 категории АО «Гипрогазцентр»;  
fae\_nir@nntu.ru

**Сидоров Антон Юрьевич** – начальник бюро подразделения 130; «ОКБМ им. И.И. Африкантова»; 246-95-93.

**Трофимов Иван Михайлович** – аспирант НГТУ им. Р.Е.Алексеева, инженер АО «Электроинтел»;  
a\_van\_ia@mail.ru

**Титов Владимир Георгиевич** – д-р техн. наук, профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
era@nntu.ru

**Чивенков Александр Иванович** – д-р техн. наук, профессор НГТУ им. Р.Е.Алексеева;  
Chyvenkov@mail.ru

**Хробостов Александр Евгеньевич** – канд. техн. наук, доцент, директор ИЯЭиТФ НГТУ им. Р.Е. Алексеева;  
khrobostov@nntu.nnov.ru

**Умяров Дамир Вафиевич** – начальник отдела ОАО «КБ Вымпел»;  
fae\_nir@nntu.ru

#### **МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ: ТЕОРИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, ПРОИЗВОДСТВО**

**Бердник Ольга Борисовна** – канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник филиала «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН» (ИПМ РАН), г. Нижний Новгород.  
npktribonika@yandex.ru

**Зеленов Сергей Николаевич** – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева; tseu@nntu.ru.

**Нефёдов Алексей Александрович** – магистрант НГТУ им. Р.Е. Алексеева; alexey.nefedov199321@yandex.ru

**Крюков Олег Викторович** – д-р техн. наук, доцент, главный специалист ОТД и НТИ АО «Гипрогазцентр»; o.kryukov@ggc.nnov.ru

**Кретинин Олег Васильевич** – д-р техн. наук, профессор НГТУ им. Р.Е. Алексеева; emailkretinin@list.ru

**Кварталов Александр Рафаилович** – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева; tkm@nntu.ru

**Кириков Сергей Владимирович** - инженер-исследователь филиала «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН» (ИПМ РАН), г. Нижний Новгород. ksv.kirikov@yandex.ru

**Москвичев Александр Алексеевич** – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева; tkm@nntu.ru

**Пантелеев Иван Олегович** – студент НГТУ им. Р.Е. Алексеева; V apo 13 3 2@yandex.ru

**Сахаровский Станислав Константинович** – начальник отдела подготовки и снабжения технологической оснасткой и инструментом ПАО "Нижегородский машиностроительный завод"; Smacl992@mail.ru

**Семашко Петр Владимирович** – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева; tseu@nntu.nnov.ru

**Фролова Ирина Николаевна** – канд. техн. наук, доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева; fririnin@mail.ru

**Фазлиев Дамир Нурисламович** – магистрант НГТУ им. Р.Е. Алексеева; fazliev.nn@gmail.com

**Царева Ирина Николаевна** – канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник филиала «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН» (ИПМ РАН), г. Нижний Новгород. npktribonika@yandex.ru

## 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.

**ПРИНИМАЕМ В ПЕЧАТЬ НАУЧНЫЕ СТАТЬИ В ЖУРНАЛ  
«ТРУДЫ НГТУ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»**

*Адрес редакции: 603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24  
Телефон: 8(920)00-37-877  
E-mail: rsl@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, подрисовочная 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.

**ТРУДЫ НГТУ**  
**им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

**№ 1 (116)**

Редакторы: **Е.В. Комарова, Т.В. Третьякова**  
Технический редактор **Т.П. Новикова**

*Редакция:*

603950, Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24.  
rsl@nntu.nnov.ru

Подписано в печать 07.03.2017. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 23,25. Тираж 300 экз. Заказ 136.

---

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева.  
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:  
603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24.