

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**  
**«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ – РЕСПУБЛИКАНСКИЙ**  
**ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ»**  
**(ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ)**

# **ИННОВАТИКА И ЭКСПЕРТИЗА**

**НАУЧНЫЕ ТРУДЫ**  
**Выпуск 1 (19)**

**МОСКВА 2017**

**Editor-in-chief**

*G.I. Bakhturin, General Director of SRI FRCEC, Doctor of Engineering*

**Editorial Board:**

*P.B. Melnik, Deputy General Director of SRI FRCEC for R&D, Deputy Chief Editor, Doctor of Engineering;*

*K.V. Lebedev, Deputy General Director of SRI FRCEC for R&D, Doctor of Economics;*

*I.I. Kurochka, Scientific Secretary, Executive Secretary of the editorial Board, Doctor of Physics and Mathematics;*

*N.A. Mironov, Director of Centre, Doctor of Engineering;*

*Y.L. Rybakov, Director of Centre, Ph.D. of Biology;*

*T.I. Turko, Director of Centre, Doctor of Biology;*

*S.B. Schepansky, Deputy Director of Centre, Doctor of Engineering;*

*A.M. Mironov, Chief, Main Directorate for Research & Development and Advanced Technology Technical Expertise (Innovation Research) of the Ministry of Defence, Doctor of Engineering;*

*A.N. Antonov, General Director JSC «Poligon»;*

*N.P. Ivaschenko, Deputy Dean, Lomonosov Moscow State University, Ph.D. of Economics;*

*A.M. Tishin, Professor, Lomonosov Moscow State University, Ph.D. of Physics and Mathematics*

**Executive Technical Editor for the collection**

*A.A. Tugarinov*

**Innovatics and Expert Examination.** The scientific works of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Scientific Research Institute – Federal Research Centre for Project Evaluation and Consulting Services» (SRI FRCEC). Moscow. SRI FRCEC, 2017. Vol. 1(19). 215 p.

This collection includes published scientific works of theoretical and practical nature made by analysts, specialists and experts of SRI FRCEC as well as of other scientific organizations and industrial enterprises, on the most important issues of Russia in the field of innovation, scientific and technological expert examination, economics and organization of scientific activity, scientific and technological cooperation. The topical issues touched upon, are related to the production and application of new high-tech raw materials, use of directional transmission of energy, prospects of development of energy, study of properties of new materials, including nanostructured materials; examination of trends of innovative development of Russia, results of the analysis of activity of economic entities and development of innovative infrastructures of universities; discussion of legal regulation of protected areas etc.

Scientific research and review-analytical articles of this collection may be useful for managers of institutions and enterprises, scientific research workers, experts, analysts and practitioners in the field of innovation management, development of innovative products, as well as for lecturers and students.

**ISSN 1996-2274**

© SRI FRCEC, 2017

**EAN-13: 9771996227771**

This collection was registered on 12 April 2007 in ROSOHRANKULTURA Agency PIN<sup>o</sup> FS77-27730.

---

**Editorial Address:** 123317, Moscow, Antonov-Ovseenko St., 13, Bldg. 1

**Tel.:** (499) 259-69-92, **Fax:** (499) 256-45-41

**E-mail:** info@extech.ru

**http://www.extech.ru**

## **Главный редактор**

*Г.И. Бахтурин, генеральный директор ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук*

## **Редакционная коллегия:**

*П.Б. Мельник, зам. ген. директора ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по научной работе, зам. гл. редактора, канд. техн. наук;*

*К.В. Лебедев, зам. ген. директора ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по научной работе, канд. экон. наук;*

*И.И. Курочка, ученый секретарь, отв. секретарь редколлегии, канд. физ.-мат. наук;*

*Н.А. Миронов, дир. центра, канд. техн. наук;*

*Ю.Л. Рыбаков, дир. центра, д-р биол. наук;*

*Т.И. Турко, дир. центра, канд. биол. наук;*

*С.Б. Щепанский, зам. дир. центра, канд. техн. наук;*

*А.М. Миронов, нач. гл. управления ГУНИД МО РФ, канд. техн. наук;*

*А.Н. Антонов, ген. директор АО «Полигон»;*

*Н.П. Иващенко, зам. дек. МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р экон. наук;*

*А.М. Тишин, проф. МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р физ.-мат. наук*

## **Отв. тех. редактор сборника**

*А.А. Тугаринов*

**Инноватика и экспертиза.** Научные труды Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» (ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ). М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2017. Вып. 1(19). 215 с.

В сборнике опубликованы научные труды теоретического и практического характера аналитиков, специалистов и экспертов ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ а также других научных организаций и производственных предприятий по наиболее актуальным для России проблемам в области инноватики, научной и научно-технической экспертизы, экономики и организации научной деятельности, научно-технического и технологического сотрудничества. Затронуты актуальные проблемы, связанные с добычей и применением нового высокотехнологичного сырья, использования направленной передачи энергии, перспективами развития энергетики, изучением свойств новых, в том числе наноструктурных материалов; рассматриваются направления инновационного развития России и др.

Научные и обзорно-аналитические статьи сборника могут быть полезными для руководителей учреждений и предприятий, научных работников, экспертов и аналитиков, практиков-производственников в области инновационного управления, разработки инновационных продуктов, а также для преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

**ISSN 1996-2274**

© ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2017

**EAN-13: 9771996227771**

Сборник зарегистрирован 12 апреля 2007 г. в Росотранкультуре, ПИ № ФС77-27730.

---

**Адрес редакции:** 123317, г. Москва, ул. Антонова-Овсеенко, д. 13, стр. 1

**Тел.:** (499) 259-69-92, **факс:** (499) 256-45-41

**E-mail:** info@extech.ru

**http://www.extech.ru**

## CONTENTS

### INNOVATION: THEORY AND PRACTICE

|                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Alferov V.V.</b> In the Ministry of Defence of the Russian Federation: historical and elemental aspects .....                                                                                                                                      | 8  |
| <b>Plieva Z.R.</b> Innovation infrastructure of Moscow in the information system «The national centre for monitoring of the innovation infrastructure of scientific and technological activities and regional innovation systems» (NIAC MIIRIS) ..... | 14 |
| <b>Izyumov D.B., Kondratyuk E.L.</b> Foreign experience of commercialization of innovative technologies .....                                                                                                                                         | 28 |

### EXPERT EXAMINATION AND ANALYTICAL ACTIVITY

|                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Melnik P.B.</b> Methodology of formation of expert pools and groups for conduction of expert-analytical researches .....                                                                                                                 | 39 |
| <b>Divueva N.A.</b> Federal roster of experts of scientific and technical sphere as a tool of the expert-analytical support of the Ministry of education and science of the Russian Federation: the state and dynamics of development ..... | 55 |
| <b>Galinovskiy A.L., Samsonov K.S., Sevryukova A.V., Salahetdinova A.R.</b> Comparison of different methods of control and diagnostics of the quality of the ceramics by the method of expert estimation .....                              | 64 |

### ECONOMY AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gudkova A.A., Turko T.I.</b> Zones of territorial development as a tool of the state of regional innovation policy of the Russian Federation .....                                                                                                                                                                                                            | 75  |
| <b>Lukasheva N.A., Andreyev Yu.N.</b> Research of the composition of companies of partners of universities .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 92  |
| <b>Ivanov B.V., Krystalinskaya S.V., Gladisheva E.A., Dobrinin D.A.</b> Contests of 2017 for the right to receive grants from the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists – doctors of philosophy and doctors of science and funds for state support of the leading scientific schools of the Russian Federation ..... | 103 |
| <b>Izyumov D.B., Kondratyuk E.L.</b> Analysis of global expenditure on research and development in 2014–2016 .....                                                                                                                                                                                                                                               | 113 |



## СОДЕРЖАНИЕ

### ИННОВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

|                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Алферов В.В.</b> Информационно-аналитическое обеспечение инновационной деятельности в Минобороны России: исторический и элементный аспекты .....                                                                                      | 8  |
| <b>Плиева З.Р.</b> Инновационная инфраструктура Москвы в информационной системе «национальный центр по мониторингу инновационной инфраструктуры научно-технической деятельности и региональных инновационных систем» (НИАЦ МИИРИС) ..... | 14 |
| <b>Исюмов Д.Б., Кондратюк Е.Л.</b> Зарубежный опыт коммерциализации инновационных технологий .....                                                                                                                                       | 28 |

### ЭКСПЕРТИЗА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

|                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Мельник П.Б.</b> Методика формирования экспертных пулов и групп для проведения экспертно-аналитических исследований .....                                                         | 39 |
| <b>Дивуева Н.А.</b> Федеральный реестр экспертов научно-технической сферы, как инструмент экспертно-аналитической поддержки Минобрнауки России: состояние и динамика развития .....  | 55 |
| <b>Галиновский А.Л., Самсонов К.С., Севрюкова А.В., Салахатдинова А.Р.</b> Сравнение различных методов контроля и диагностики качества керамики методом экспертного оценивания ..... | 64 |

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Гудкова А.А., Турко Т.И.</b> Зоны территориального развития как инструмент государственной региональной инновационной политики Российской Федерации .....                                                                                                                                                                          | 75  |
| <b>Лукашева Н.А., Андреев Ю.Н.</b> Исследование состава компаний партнеров вузов .....                                                                                                                                                                                                                                                | 92  |
| <b>Иванов Б.В., Кристалинская С.В., Гладышева, Е.А. Добрынин Д.А.</b> Конкурсы 2017 года на право получения грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук и докторов наук и средств для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации ..... | 103 |
| <b>Исюмов Д.Б., Кондратюк Е.Л.</b> Анализ глобальных расходов на исследования и разработки в 2014–2016 годах .....                                                                                                                                                                                                                    | 113 |

## ENGINEERING AND TECHNOLOGY

|                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Belov O.A., Klement'ev S.A., Doroganov A.B.</b> Corrosion processes as a factor in reducing the safety of operation of sea-going vessels .....                                                                                                                                        | 123 |
| <b>Levchenko L.M., Galitsky A.A., Kosenko V.V., Sagidullin A.K.</b> Modern technologies of demercurization of solid wastes .....                                                                                                                                                         | 127 |
| <b>Andryushina I.N., Andryushin K.P., Shilkina L.A., Dudkina S.I., Nagaenko A.V., Verbenko I.A., Reznichenko L.A.</b> Correlations: elemental composition – phase filling – structure of grain – macro-responses in hard ferroelectric piezoceramics on the base of the pzt system ..... | 141 |
| <b>Pshenichny G.N.</b> On the interaction, structure formation and hardening of cement systems .....                                                                                                                                                                                     | 149 |
| <b>Lyasnikova A.V., Grishina I.P., Dudarev O.A., Markelova O.A.</b> Structural and morphological features of nanocomposite plasma coatings based on modified calcium phosphate powders .....                                                                                             | 164 |

## NATIONAL SECURITY

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Maryshev E.A., Mironov N.A.</b> The experience of involving the expert community of scientific and technological sphere to develop proposals on scientific and technological priorities of development of science, technology and engineering in the interests of national defense and state security ..... | 169 |
| <b>Tishin A.M.</b> Prospects for the use of rare-earth permanent magnets in electric drives of a special purpose. To the 100 anniversary use of permanent magnets in engineering .....                                                                                                                         | 175 |
| <b>Komarov I.M., Epishin, K.V. Zernykov D.V., Izyumov D.B., Kondratyuk E.L.</b> Foreign experience in the creation of control systems for unmanned aerial vehicles, designed to solve the tasks of ensuring the actions of the naval forces .....                                                              | 193 |
| <b>Komarov I.M., Zernykov D.V., Epishin K.V., Khitsunov E.L., Izyumov D.B., Kondratyuk E.L.</b> Development and tactics of application of hypersonic aircraft based on foreign sources .....                                                                                                                   | 204 |

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

|                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Белов О.А., Клементьев С.А., Дороганов А.Б.</b> Коррозионные процессы как фактор снижения безопасности эксплуатации морских судов .....                                                                                                                                    | 123 |
| <b>Левченко Л.М., Галицкий А.А., Косенко В.В., Сагидуллин А.К.</b> Современные технологии демеркуризации твердых отходов .....                                                                                                                                                | 127 |
| <b>Андрюшина И.Н., Андрюшин К.П., Шилкина Л.А., Дудкина С.И., Нагаенко А.В., Вербенко И.А., Резниченко Л.А.</b> Корреляционные связи элементный состав – фазовое наполнение – зеренная структура – макроотклики в сегнетожестких пьезокерамиках на основе рzt – системы ..... | 141 |
| <b>Пшеничный Г.Н.</b> О взаимодействии, структурообразовании и твердении цементных систем .....                                                                                                                                                                               | 149 |
| <b>Лясникова А.В., Гришина И.П., Дударева О.А., Маркелова О.А.</b> Структурно-морфологические особенности нанокompозитных плазменных покрытий на основе модифицированных кальцийфосфатных порошков .....                                                                      | 164 |

## НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Марышев Е.А., Миронов Н.А.</b> Опыт привлечения экспертного сообщества научно-технической сферы для разработки предложений по научно-технологическим приоритетам развития науки, технологий и техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства ..... | 169 |
| <b>Тишин А.М.</b> Перспективы применение редкоземельных постоянных магнитов в электроприводах специального назначения. К 100-летию использования постоянных магнитов в технике .....                                                                                             | 175 |
| <b>Комаров И.М., Епишин К.В., Зернюков Д.В., Изюмов Д.Б., Кондратюк Е.Л.</b> Зарубежный опыт создания систем управления беспилотными летательными аппаратами, предназначенных для решения задач обеспечения действий военно-морских сил .....                                    | 193 |
| <b>Комаров И.М., Зернюков Д.В., Епишин К.В., Хицунов Е.Л., Изюмов Д.Б., Кондратюк Е.Л.</b> Разработка и тактика применения гиперзвуковых летательных аппаратов по материалам зарубежных источников .....                                                                         | 204 |

## ИННОВАЦИИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

### ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В МИНОБОРОНЫ РОССИИ: ИСТОРИЧЕСКИЙ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ АСПЕКТЫ

**В.В. Алферов**, нач. отд. ГУНИД МО РФ, канд. воен. наук,

*В статье приведены результаты анализа функционального, исторического, коммуникативного и элементного аспектов организации информационно-аналитического обеспечения инновационной деятельности в Минобороны России.*

**Ключевые слова:** Информационно-аналитическое обеспечение, информационно-аналитическая работа, аналитика, инновационная деятельность.

### INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT OF INNOVATION ACTIVITIES IN THE MINISTRY OF DEFENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION: HISTORICAL AND ELEMENTAL ASPECTS

**V.V. Alferov**, Head of Department, Main Directorate for Research & Development and Advanced Technology Technical Expertise (Innovation Research) of the Ministry of Defence, Ph.D. in Military sciences

*The article presents the results of the analysis of the functional, historical, communicative and elemental aspects of the organization of information and analytical support of innovation activities in the Ministry of Defence of the Russian Federation.*

**Keywords:** Information and analytical support, information and analytical work, analytics, innovative activity.

В настоящее время в России существует установленный порядок формирования государственной программы вооружения (ГПВ) и государственного оборонного заказа (ГОЗ), главной особенностью которого является использование программно-целевого метода. Однако значительная часть инициативных проектов и предложений, имеющих инновационных характер, поступает на рассмотрение в органы военного управления (ОВУ) вне рамок формирования ГПВ и ГОЗ. Это создает объективные трудности в принятии решения об их реализации, а в случае реализации некоторых проектов, может потребовать пересмотра или корректировки ранее принятых решений.

Анализ практики инновационной деятельности в Минобороны России показывает необходимость формирования особой системы управления внедрением новаций и перспективных технологий военного назначения при создании перспективных вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ).

Для достижения высокой эффективности такой системы необходимо обеспечить качество и своевременность соответствующих управленческих решений за счет всестороннего информационно-аналитического обеспечения процесса их принятия.

В настоящее время в нормативных и правовых актах Минобороны России, регулирующих инновационную деятельность, вопросы ее информационно-аналитического обеспечения раскрыты недостаточно. При этом задача информационно-аналитического обеспечения

деятельности комиссии Министерства обороны Российской Федерации по инновационным проектам и технологиям возложена на Главное управление научно-исследовательской деятельности и технологического сопровождения передовых технологий (инновационных исследований) Министерства обороны Российской Федерации [1].

Исторический анализ формирования в Минобороны России системы перспективных военных исследований и разработок (СПВИР МО РФ) показал, что функции информационно-аналитического обеспечения инновационной деятельности (ИАО ИД) в 2013–2014 гг. возлагались на Информационно-аналитический центр (сбора, анализа и подготовки информации) Министерства обороны Российской Федерации. В 2014 г. при оптимизации организационно-штатной структуры СПВИР МО РФ информационно-аналитический центр был расформирован, а часть его функций перешли к ГУНИД МО РФ.

В настоящее время задачами ГУНИД МО РФ по информационно-аналитическому обеспечению инновационной деятельности являются:

- сбор и анализ информации о передовых научных достижениях, отечественном и зарубежном инновационном потенциале для использования при создании перспективных ВВСТ;

- создание единого информационного ресурса по технологиям военного и специального назначения [2].

В структуре ГУНИД МО РФ имеется два подразделения, специализированных на вопросах информационно-аналитической работы. Задачей одного из них является организация проведения экспертизы научно-технических проектов и подготовка предложений по их реализации. Кроме того, оно осуществляет ведение информационной базы прорывных исследований, разработок и технологий, которые могут быть использованы в интересах обороны Российской Федерации.

Также создано и функционирует подразделение, осуществляющее комплексный анализ инновационной деятельности Минобороны России.

Кроме того, Министерством обороны для организации и проведения вневедомственной экспертизы инициативных проектов военного и двойного назначения создано и функционирует акционерное общество «Центр поддержки инициативных разработок и инновационной деятельности «Полигон» (АО «Полигон»), экспертно-аналитическим органом которого является научно-технический совет акционерного общества.

Сравнительный анализ информационно-аналитического обеспечения других федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ) и некоторых субъектов инновационной деятельности показал наличие двух подходов к его организации.

В ФОИВ, как правило, созданы и функционируют специализированные научные организации, осуществляющих аналитическую деятельность в научно-технической и инновационных сферах. В состав этих научных организаций входят структурные подразделения аналитического и экспертного обеспечения, а также подразделения мониторинга и информационного обеспечения.

Основным подходом к организации ИАО ИД субъектов инновационной деятельности является формирование научно-технических советов и экспертных подразделений. Например, в Фонде перспективных исследований имеется Научно-технический совет, являющийся консультативным органом научно-методологического, информационно-аналитического и экспертного обеспечения деятельности Фонда.

ФОИВ и другие субъекты инновационной деятельности активно используют инструмент независимой экспертизы. К оценке проектов и подготовке информационно-аналитических материалов привлекаются экспертные организации и ведущие эксперты.

Сравнение подходов к организации ИАО ИД и результаты ретроспективного анализа создания системы поддержки принятия решений по вопросам инновационной деятельности в Минобороны России показывают, что одним из негативных факторов, влияющих на ка-

чество ее функционирования, является отсутствие в ней научно-методического центра, соответствующего уровню решаемых задач.

Опыт осуществления в Минобороны России инновационной деятельности, реализации полномочий по ее государственной поддержке показывает, что эффективно она может осуществляться только во взаимодействии с другими ФОИВ, реализующими функции научно-технической политики, а также с институтами развития. Вследствие этого, при совершенствовании системы ИАО ИД Минобороны России необходимо организовать устойчивое взаимодействие с другими субъектами инновационной деятельности. Система ИАО ИД не должна быть замкнутой. Необходимо иметь возможность включения в нее вневедомственного информационного, аналитического и экспертного потенциалов.

С учетом межведомственного характера решаемых проблем при реализации военно-технической политики государства основные программно-технические средства ИАО ИД должны быть развернуты в Национальном центре управления обороной Российской Федерации (НЦУО РФ). Задачи информационного обеспечения в этом случае целесообразно возложить на направление (мониторинга развития научно-исследовательской деятельности и инновационной деятельности) НЦУО РФ.

Система ИАО ИД Минобороны России организационно должна представлять собой единый контур взаимодействующих структур, осуществляющих информационно-аналитическую поддержку принятия решений в сфере инновационной деятельности. Она должна быть построена в соответствии с существующей системой управления Вооруженными Силами и учитывать необходимость взаимодействия с вневедомственными информационно-аналитическими центрами. Вариант структуры системы представлен на рис. 1.

В рамках системы ИАО ИД необходимо выделить:

- заказчиков аналитических исследований;
- организатора ИАО ИД и координатора системы;
- потребителей информационных ресурсов и аналитической информации;
- организации (подразделения) информационного обеспечения и технической поддержки;
- аналитические организации (подразделения);
- научно-методический центр развития системы.

Заказчиками результатов аналитической работы в сфере инновационной деятельности Минобороны России могут быть лица, принимающие решения по развитию системы вооружения (ЛПР). Кроме того, при рассмотрении инновационных проектов ими могут выступать ОВУ, а также коллегиальные органы – Научно-технический совет Министерства обороны Российской Федерации (НТС МО РФ) и Комиссия Министерства обороны Российской Федерации по инновационным проектам и технологиям (КИПиТ).

Организацию ИАО ИД, координацию аналитических исследований и процесса оценки инновационных проектов, требующих привлечения вневедомственного контура экспертизы, целесообразно возложить на ГУНИД МО РФ.

Потребителями информационных ресурсов системы кроме ОВУ, включенных в контур системы, могут быть также образовательные организации высшего образования (ВУЗ) и научно-исследовательские организации (НИО) Минобороны России.

Главную роль в системе должны иметь экспертно-аналитические организации Минобороны России. В связи с тем, что аналитическая работа по своей сути является творческой, эффективное ее осуществление возможно только в научно-исследовательских организациях и образовательных организациях высшего образования Минобороны России.

К аналитической работе по отдельным направлениям также могут привлекаться эксперты-практики, обладающие значительным опытом по направлениям своей деятельности, в том числе эксплуатации ВВСТ, находящегося на вооружении. Наиболее перспективно их привлечение для определения текущих проблем в военно-техническом обеспечении войск, которые необходимо решить с привлечением инновационного потенциала страны.



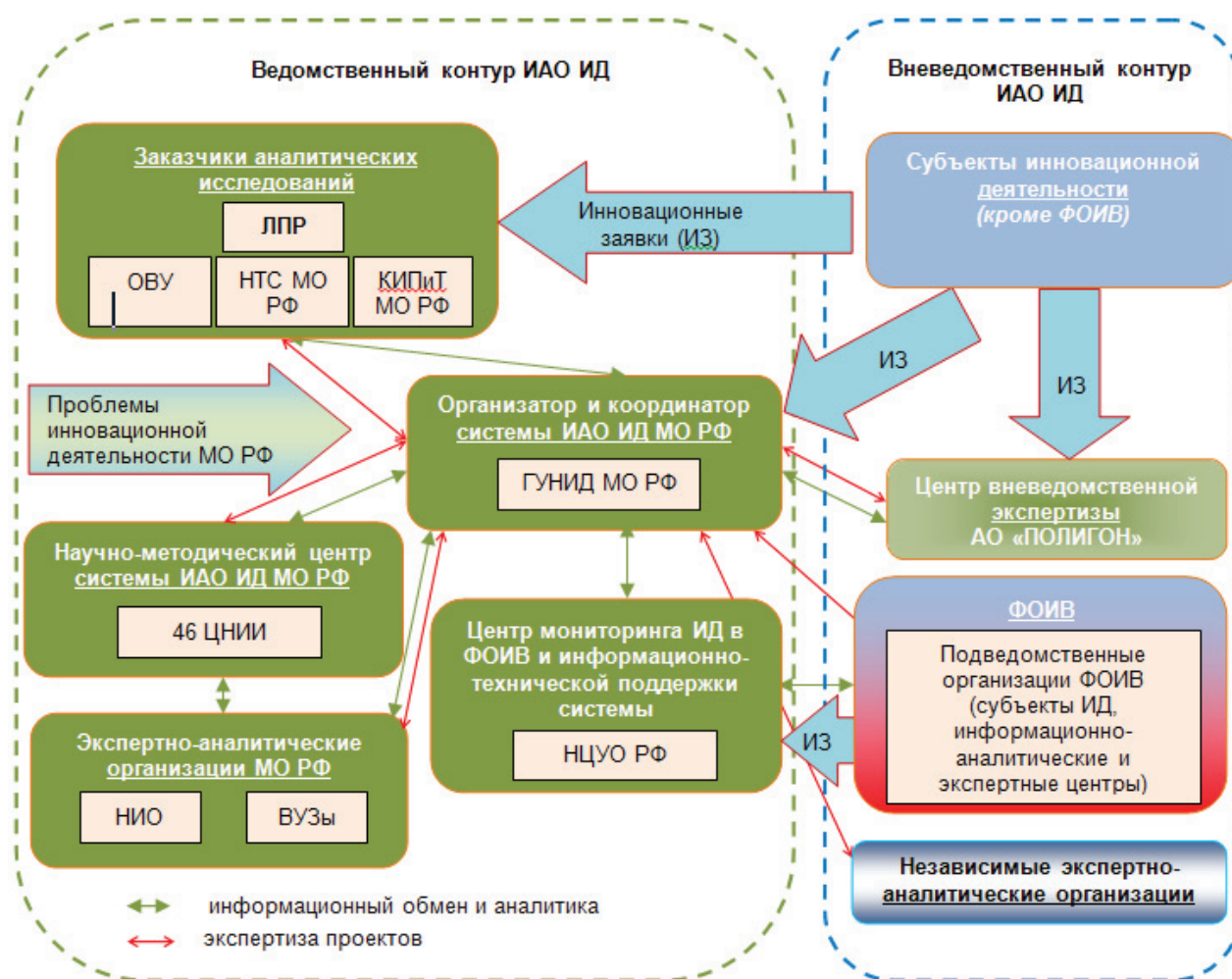


Рис. 1. Структурная схема системы ИАО ИД Минобороны России (вариант)

С учетом того, что в части задачи информационно-аналитического обеспечения управления программным развитием системы вооружения основные функции возложены на ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, на эту научно-исследовательскую организацию целесообразно возложить также функции научно-методического и главного аналитического подразделения системы ИАО ИД Минобороны России.

ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России обладает наилучшими возможностями для выполнения этих функций, так как является надвидовой научно-исследовательской организацией министерства по обоснованию перспектив развития системы вооружения Вооруженных Сил Российской Федерации и головной научной организацией в Министерстве обороны по проблемам разработки программ развития отечественной технологической базы, обоснованию реализации современных наукоемких проектов в оборонной промышленности. Институт активно участвует в создании автоматизированной системы управления развитием ВВСТ и внедрении новых информационных технологий в интересах информационного обеспечения ВС РФ [3].

В целях повышения объективности, системности и качества рассмотрения инновационных проектов и перспективных технологий военного и двойного назначения во внешний контур ИАО ИД должны входить экспертно-аналитические организации других ФОИВ,

Российская академия наук, независимые аналитические центры, общественные научные организации, центры компетенций, а также ведущие эксперты. Это требование подтверждается отсутствием в Вооруженных Силах собственных экспертов по ряду научных направлений.

Взаимодействие с вневедомственными экспертно-аналитическими организациями в настоящее время организуется на основе соглашений о сотрудничестве с Минобороны России в инновационной сфере деятельности. Однако назрела необходимость формирования механизма организации совместной работе на договорной основе с учетом требований Федерального закона от 05.04.2013 г. № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд».

Целесообразно продолжить взаимодействие по вопросам ИАО ИД с такими известными экспертно-аналитическими организациями как ФГБНУ «Научно-исследовательский институт — Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» и ФГБНУ «Дирекция научно-технических программ», подведомственных Минобрнауки России.

Не менее важным является организация эффективного взаимодействия в инновационной сфере ведомственного контура ИАО ИД Минобороны России с ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт судостроительной промышленности «Центр» Минпромторга России, являющемся головной организацией по информационно-аналитическому обеспечению деятельности органов управления ОПК России.

Таким образом, результаты анализа существующего положения в ИАО ИД показывают, что подходы к его организации не обеспечивают необходимые результативность и эффективность инновационной деятельности в сфере развития системы вооружения Вооруженных Сил Российской Федерации.

Предложенный вариант формирования организационной основы системы ИАО ИД имеет ряд преимуществ, связанных с отсутствием затрат на проведение организационно-штатных мероприятий, возможностью обеспечения быстрого сбора и обработки информации, привлечения внешних ресурсов и оперативной реакции системы на потребности Вооруженных Сил.

Система ИАО ИД Минобороны России должна представлять собой взаимосвязанную совокупность правовых, организационных, информационных, научно-методических и программно-технических элементов. Необходимо создание и межведомственная интеграция современных информационных систем ИАО ИД.

Не менее важным является совершенствование методологии ИАО ИД и развитие прикладных аналитических технологий.

Основной целью совершенствования системы информационно-аналитического обеспечения инновационной деятельности Минобороны России должно являться повышение эффективности управления созданием перспективного ВВСТ с использованием отечественного инновационного потенциала.

### **Список литературы**

1. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 25 декабря 2014 г. № 974 «О Комиссии Министерства обороны Российской Федерации по инновационным проектам и технологиям».
2. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 26.04.2016 г. № 222 «Об утверждении Положения о Главном управлении научно-исследовательской деятельности и технологического сопровождения передовых технологий (инновационных исследований) Министерства обороны Российской Федерации».
3. 46 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации. Портал МО РФ. Available at: <http://ens.mil.ru/science/SRI/infrmation.htm?id=11391%40morfOrgScience> (дата обращения 19.03.2017 г.).



## References

1. *Prikaz Ministra oborony Rossiyskoy Federatsii ot 25 dekabrya 2014 g. No. 974 «O Komissii Ministerstva oborony Rossiyskoy Federatsii po innovatsionnym proektam i tekhnologiyam»* [Order of the Minister of Defence of the Russian Federation of 25th of December, 2014 No. 974 «On the Commission of the Ministry of Defence of the Russian Federation on Innovative Projects and Technologies»].
2. *Prikaz Ministra oborony Rossiyskoy Federatsii ot 26.04.2016 g. No. 222 «Ob utverzhdenii Polozheniya o Glavnom upravlenii nauchno-issledovatel'skoy deyatel'nosti i tekhnologicheskogo soprovozhdeniya peredovykh tekhnologiy (innovatsionnykh issledovaniy) Ministerstva oborony Rossiyskoy Federatsii»* [Order of the Minister of Defence of the Russian Federation of 26th of April, 2016 No. 222 «On approval of the Regulations on the Directorate-General for Research and Technological Support of Advanced Technologies (Innovative Studies) of the Ministry of Defence of the Russian Federation»].
3. 46 *Tsentral'nyy nauchno-issledovatel'skiy institut Ministerstva oborony Rossiyskoy Federatsii. Portal MO RF (data obrashcheniya 19.03.2017 g.)* [46 Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation. Portal of the Ministry of Defence of the Russian Federation]. Available at: [http://ens.mil.ru/science/SRI/information.htm?id=11391 %40morfOrgScience](http://ens.mil.ru/science/SRI/information.htm?id=11391%40morfOrgScience) (reference date: March 19, 2017).

## ИННОВАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА МОСКВЫ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО МОНИТОРИНГУ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ» (НИАЦ МИИРИС)

**З.Р. Плиева**, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. экон. наук,  
*plieva@extech.ru*

*В работе рассмотрены основные вопросы формирования и поддержки развития инновационной инфраструктуры Москвы. Представлены результаты анализа нормативных правовых актов, регламентирующих деятельность инновационной инфраструктуры Москвы. Даны основные сведения о существующих формах развития инновационной инфраструктуры Москвы.*

**Ключевые слова:** инновационная инфраструктура, инфраструктура инновационной системы, субъект инновационной деятельности, объект инновационной инфраструктуры, наукоград, кластер, инновационный центр, технопарк, бизнес инкубатор

## INNOVATION INFRASTRUCTURE OF MOSCOW IN THE INFORMATION SYSTEM «THE NATIONAL CENTRE FOR MONITORING OF THE INNOVATION INFRASTRUCTURE OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL ACTIVITIES AND REGIONAL INNOVATION SYSTEMS» (NIAC MIIRIS)

**Z.R. Plieva**, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Economics,  
*plieva@extech.ru*

*The article discusses the main issues of formation and support of innovation infrastructure of Moscow presenting the results of analysis of normative legal acts regulating the activities of the innovation infrastructure. The key information on the existing forms of development of the innovation infrastructure of Moscow is given.*

**Keywords:** innovation infrastructure and innovation system infrastructure, the subject of innovation, the object of innovation infrastructure, science town, cluster, innovation centre, technopark, business incubator.

Реализация инновационной политики Москвы за последние десятилетия прошла три значимых этапа.

Первый этап связан с введением в действие закона г. Москвы от 07.07.2004 г. № 45 «Об инновационной деятельности в городе Москве». Данный документ устанавливал порядок формирования, утверждения и реализации инновационной политики органов государственной власти города Москвы.

На основании указанного закона и в целях создания инновационной системы в городе принимается концепция инновационной политики, утвержденная постановлением Правительства Москвы от 05.09.2006 г. № 658-ПП.

В соответствии с документом «для Москвы развитие инновационной деятельности и формирование экономики, основанной на знаниях, имеет особое значение, поскольку в столице конкурентоспособными могут быть только высокотехнологичные и наукоемкие производства и предприятия».

Возможность перехода на инновационный путь развития авторы документа связывают с сосредоточением в городе порядка 60% научно-технического потенциала страны. В качестве организаций инновационной инфраструктуры в г. Москве на тот период отмечены научно-технические и инновационные предприятия малого бизнеса, созданные на базе университетов и научных учреждений, а также при университетах и научных учреждениях организованы технопарки.

В этот период на территории Зеленоградского административного округа Москвы по соглашению между Правительством Российской Федерации и Правительством Москвы от 18 января 2006 г. создается особая экономическая зона технико-внедренческого типа «Зеленоград».

Основным инструментом реализации инновационной политики в Москве становится городская целевая комплексная программа «О Городской целевой комплексной программе создания инновационной системы в городе Москве на 2008–2010 гг.», утвержденная постановлением Правительства Москвы от 02.09.2008 г. № 781-ПП.

Среди программных мероприятий, направленных на развитие инновационной инфраструктуры, следует выделить формирование условий для создания инновационно-ориентированных организаций и их поддержки.

В рамках реализации городской целевой программы утверждается постановление Правительства Москвы от 02.12.2008 г. № 1104-ПП «О создании Реестра инновационно-активных организаций города Москвы», которое определяет порядок формирования и ведения реестра инновационно-активных предприятий.

Несмотря на существование указанного реестра, держателем которого был определен Департамент науки и промышленной политики г. Москвы, «инновационно-активные организации» не имели никаких преференций со стороны субъекта Российской Федерации.

Второй этап ознаменован принятием нового закона от 06.06.2012 г. № 22 «О научно-технической и инновационной деятельности в городе Москве». В соответствии с указанным документом ранее рассмотренные нормативные правовые акты утратили силу.

Закон закрепляет новый подход к организации инновационной инфраструктуры, поддерживаемой на региональном уровне. В отличие от предыдущего закона, в новом отсутствует термин «инновационно-активные организации». Закон закрепляет новый подход к определению элементов инновационной инфраструктуры.

В силу ст. 1 «закон регулирует отношения, возникающие между субъектами научно-технической и инновационной деятельности, субъектами научно-технической и инновационной инфраструктуры и органами государственной власти города Москвы при осуществлении научно-технической и инновационной деятельности».

Впервые на уровне законодательства г. Москвы определяются формы и закрепляемые функции за конкретными элементами инновационной инфраструктуры. И, в первую очередь, это делается с целью введения и реализации основных механизмов поддержки. Указанный подход представляет особый интерес для организаций, желающих получить поддержку города.

Основным инструментом реализации инновационной политики субъекта РФ становится государственная программа города Москвы «Экономическое развитие и инвестиционная привлекательность города Москвы» на 2012–2018 годы», утвержденная постановлением Правительства Москвы от 11.10.2011 № 477-ПП.

По данным программы инновационная инфраструктура Москвы на этот период представляла собой «около десяти бизнес-инкубаторов, технопарков и технико-внедренческих зон (технопарк Digital October, технопарк «Слава», технопарк «Строгино», бизнес-инкубатор Высшей школы экономики, бизнес-инкубатор Академии народного хозяйства, Особая экономическая зона технико-внедренческого типа «Зеленоград»).

Важным конкурентным преимуществом города Москвы также является сосредоточение в городе институтов инновационного развития, таких как Государственная корпорация «Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)», ОАО «Роснано», ОАО «Российская венчурная компания», Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, инновационный центр «Сколково» и другие.

Однако это не отражало всю картину инновационной инфраструктуры Москвы на тот период, так как не учитывался потенциал, который представляла вузовская инновационная инфраструктура, получившая развитие благодаря федеральным программам поддержки.

На период введения программы реализация инновационной политики города осуществлялась в рамках подпрограммы «Москва – инновационная столица России» на 2012–2016 гг. Общий объем финансирования подпрограммы составлял 59 482,9 млн руб., в том числе за счет средств бюджета г. Москвы – 23 2602,8 млн руб. (остальные средства за счет юридических лиц).

По сравнению с финансированием предыдущей программы, бюджет (7 765,0 млн руб.) только лишь за счет средств Москвы превосходил старый в 3 раза.

Одной из задач новой подпрограммы становится развитие современной и доступной инновационной инфраструктуры. Индикатором реализации указанной задачи является предоставление финансовой поддержки до 50 субъектов инновационной инфраструктуры.

Во исполнение государственной программы г. Москвы в регионе принимаются нормативные правовые акты. Инновационная инфраструктура города получает новое развитие.

Важной новеллой документа является введение специализированной организации, отвечающей за реализацию мероприятий – Центр инновационного развития г. Москвы, функции которой в настоящее время возложены на Государственное бюджетное учреждение г. Москвы «Агентство инноваций города Москвы».

В рамках реализации программы закладываются такие мероприятия, как участие города Москвы в уставном капитале ОАО «Московская венчурная компания», а также развитие инфраструктуры для научно-технических разработок и промышленного производства.

В рамках мероприятия предполагается финансирование создания и развития инфраструктуры особой экономической зоны технико-внедренческого типа «Зеленоград» и территории инновационного развития «Москвич».

Вслед за принятием на федеральном уровне промышленной политики, утвержденной федеральным законом от 31.12.2014 г. № 488-ФЗ, Москва переходит к новому (третьему) этапу, принимая закон г. Москвы от 07.10.2015 г. № 55 «О промышленной политике города Москвы». С этого момента закон г. Москвы 06.06.2012 г. № 22 утрачивает силу.

Закон о промышленной политике г. Москвы направлен на установление правовых и экономических основ создания условий для эффективного развития промышленности на территории г. Москвы.

С принятием закона «О промышленной политике города Москвы» утрачивает силу и сложившаяся система поддержки инновационной инфраструктуры, в частности в новом законе отсутствуют такие понятия как «субъект научно-технической и инновационной инфраструктуры» и «объект научно-технической и инновационной инфраструктуры». Не находят отражения в этом законе также такие элементы инновационной инфраструктуры, как бизнес-инкубаторы и центры трансфера технологий.

Тем не менее, если говорить о регулировании бизнес-инкубаторов и центров трансфера технологий на территории г. Москвы, то здесь, в первую очередь, необходимо упомянуть Закон г. Москвы от 26.11.2008 г. № 60 «О поддержке и развитии малого и среднего предпринимательства в городе Москве», который, как и федеральный закон, вводит категорию «инфраструктура поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства». Необходимо также учитывать ряд специальных подзаконных нормативных правовых актов субъекта РФ, правоустанавливающих порядок их поддержки.

В качестве примера можно привести Решение Совета депутатов городского округа Троицк в г. Москве от 16.10.2014 № 180/32 «Об утверждении Порядка управления деятельностью бизнес-инкубатора на территории городского округа Троицк в городе Москве», в соответствии с которым утверждается порядок управления деятельностью бизнес-инкубатора.

Указанная форма регулирования деятельности бизнес-инкубаторов, на наш взгляд, ориентирована на существующую федеральную поддержку, которая реализовывалась в рамках приказа Минэкономразвития России от 01.07.2014 г. № 411 «Об организации проведения конкурсного отбора субъектов Российской Федерации, бюджетам которых в 2014 году предоставляются субсидии из федерального бюджета на государственную поддержку малого и среднего предпринимательства субъектами Российской Федерации».

Следует также отметить, что определение, утвержденное в рассматриваемом Решении, полностью отличается от определения, утвержденного законом г. Москвы от 06.06.2012 г. № 22.

В отличие от ранее представленного определения, в соответствии с которым бизнес-инкубатором является организация или их структурные подразделения, в рассматриваемом решении статус бизнес-инкубатора присваивается нежилому помещению, находящемуся в собственности муниципального образования. Форма управления имуществом комплексом в определении не закреплена. Рассматриваемое решение также устанавливает временной лаг в отношении получаемого статуса: «не менее 10 (десяти) лет».

Вместе с тем в Москве продолжает действовать постановление Правительства Москвы от 05.02.2008 г. № 88-ПП «О Концепции имущественной поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства в городе Москве», которое закрепляет такие понятия, как бизнес-инкубатор, а также технологический парк (технопарк).

Понятие бизнес-инкубатора, закрепленное в указанном документе, полностью отличается от ранее рассмотренных, как по форме организации, так и по функциональному назначению.

В соответствии с указанным постановлением, бизнес-инкубатор — организация, наделенная имуществом комплексом, созданная для поддержки предпринимателей на ранней стадии их деятельности путем предоставления в аренду помещений и оказания консультационных, бухгалтерских и юридических услуг.

Вместе с тем Концепция ориентирована на реализацию Городской целевой программы по обеспечению субъектов малого предпринимательства нежилыми помещениями на 2004—2008 гг. и задачах на 2007—2008 гг.

Аналогичная ситуация складывается и с регулированием центров трансфера технологий на территории г. Москвы.

В законе г. Москвы от 07.10.2015 г. № 55 «О промышленной политике города Москвы» сохраняются такие элементы инновационной инфраструктуры как «технопарк (технологический парк)», «технополис», «индустриальный (промышленный) парк». Также вводятся новые понятия, которые уже на этот момент определены на федеральном уровне — «технопарк в сфере высоких технологий» и «промышленный (инновационно-производственный) кластер».

Все эти расхождения в понятийном аппарате даже в рамках одного субъекта РФ в основном можно связать с большим количеством переходных этапов формирования инновационной политики на федеральном и региональном уровнях. Вместе с тем понимание форм организации, а также функционала, закрепляемого за теми или иными элементами инновационной политики, дает возможность видеть основные тенденции, определять точки роста, а также в перспективе оценивать наиболее эффективные формы функционирования элементов инновационной инфраструктуры.

В это время вносятся существенные правки в государственную программу города Москвы, утвержденную постановлением Правительства Москвы от 11.10.2011 г. № 477-ПП. Целью



подпрограммы, направленной на реализацию инновационной политики, «Москва — город для бизнеса и инноваций» является «увеличение конкурентоспособности экономики города и рост благосостояния населения, в том числе за счет стимулирования комплексного развития промышленных зон как центров притяжения высокотехнологичных компаний и высокооплачиваемых специалистов, создания благоприятных условий для развития научной, инновационной и инжиниринговой деятельности, обеспечения условий самозанятости населения».

Объем финансирования подпрограммы по сравнению с предыдущей редакцией увеличивается почти в пять раз (321 539,3 млн руб.). В новой редакции программы закладываются средства федерального бюджета (40 878,2 млн руб.), большую часть которых планируется за время реализации программы потратить на создание и развитие инфраструктуры для предпринимательской, промышленной, научной и инновационной деятельности (38 338,4 млн руб.). Почти в 2 раза увеличивается бюджет города Москвы на реализацию подпрограммы и по данным новой редакции программы достигает 48 858,9 млн руб. Наибольший объем финансирования программы в соответствии с рассматриваемым документом запланировано получить за счет средств юридических и физических лиц (231 802,2 млн руб.).

В рамках развития инновационной инфраструктуры программой определены следующие мероприятия:

- субсидии на мероприятия, предусмотренные программами развития пилотных инновационных территориальных кластеров (средства федерального бюджета — 7,4 млн руб.);
- развитие инфраструктуры для научно-технических разработок и промышленного производства (бюджет города Москвы — 1 381,9 млн руб.);
- реализация мероприятий по строительству объекта «Технопарк МФТИ, поселок северный» (бюджет города Москва — 147,1 млн руб.);
- мероприятия по строительству технопарка в сфере высоких технологий в поселке Северный (средства федерального бюджета — 415,8 млн руб.).

Выполнение указанных мероприятий направлено на достижение следующих результатов:

- увеличение количества специализированных территорий (индустриальных парков, технопарков, технополисов, территорий опережающего промышленного развития), созданных в городе Москве, с трех в 2012 г. до 16 в 2018 г.;
- доведение объема инвестиций в проекты, реализуемые на специализированных территориях (нарастающим итогом), до 25,7 млрд руб. в 2018 г.;
- доведение количества субъектов малого и среднего предпринимательства, участников инновационной деятельности и промышленных предприятий, получивших организационно-методическую и (или) информационно-консультационную поддержку, с 42,7 тыс. единиц в год в 2012 г. до 57,5 тыс. единиц в год к 2018 г.

В целях выполнения государственной программы города Москвы, приняты региональные нормативные правовые акты, направленные на реализацию механизмов поддержки инновационной политики:

- механизмы поддержки субъектов инновационной инфраструктуры, утвержденные постановлением Правительства Москвы от 15.09.2015 г. № 587-ПП «Об утверждении Порядка предоставления субсидий из бюджета города Москвы в целях возмещения части затрат субъектов малого и среднего предпринимательства, являющихся резидентами технологических парков, технополисов или индустриальных парков города Москвы, на уплату процентов по кредитам, полученным в кредитных организациях на поддержку и развитие их деятельности»;
- предоставление субсидий из бюджета города Москвы организациям, осуществляющим деятельность по управлению технополисом и (или) индустриальным парком города Москвы, утвержденные постановлением Правительства Москвы от 20.04.2012 г. № 152-ПП.



Помимо выделения субсидий на формирование отдельных элементов инновационной инфраструктуры Москвы, в регионе реализуются другие механизмы.

В частности, применяется льготное налогообложение для участников инновационной деятельности:

- установление льготной ставки налога на прибыль для организаций – субъектов инвестиционной деятельности, управляющих компаний технопарков и промышленных (промышленных) парков, якорных резидентов технопарков и промышленных (промышленных) парков (закон г. Москвы от 07.10.2015 № 52);

- предоставление льгот на транспортный налог;

- предоставление льгот на земельный налог в отношении земельных участков, занятых технопарками или промышленными (промышленными) парками и др.

В результате реализации Правительством Москвы программных мероприятий инновационная инфраструктура города претерпела ряд существенных изменений.

Проведение инновационной политики Правительством города Москвы возложено на Департамент науки, промышленной политики и предпринимательства города Москвы, а также Департамент экономической политики и развития города Москвы.

Важной составляющей инновационной системы г. Москвы стала специализированная организация – ГБУ «Агентство инноваций Москвы», учрежденная Департаментом науки, промышленной политики и предпринимательства как «единое окно» для участников инновационной экосистемы столицы (далее – Агентство).

Реализация поставленных перед организацией задач осуществляется через ее структурные подразделения, которые в отдельности также можно отнести к элементам инновационной инфраструктуры:

- региональный центр инжиниринга (далее – РЦИ);

- центр сертификации и испытаний;

- центр кластерного развития;

- отдел развития услуг таможенного оформления.

Работа организации направлена на поддержку и реализацию инновационной политики на территории города Москвы. Функции, закрепленные за структурными подразделениями, носят поддерживающий характер для участников инновационного процесса.

Процесс формирования сведений о развитии инновационной инфраструктуры в системе НИАЦ МИИРИС описан в работе [1].

Формирование инновационной инфраструктуры Москвы в системе НИАЦ МИИРИС осуществляется на основании принятого общего подхода учета элементов инновационной инфраструктуры, а также существующего механизма формирования и поддержки инновационной инфраструктуры, закрепленной в нормативных правовых актах Москвы.

В Москве сосредоточено наибольшее количество основных элементов инновационной инфраструктуры. Это связано с тем, что в городе расположены федеральные институты развития инновационной инфраструктуры России, деятельность которых направлена на формирование и поддержку участников инновационного процесса.

На территории рассматриваемого субъекта Российской Федерации создано большинство элементов инновационной инфраструктуры, которые регламентированы российским законодательством.

Данные выводы подтверждаются и статистическими показателями, которые представлены в базе данных НИАЦ МИИРИС (см. табл. 1).

Следует выделить крупные территориальные элементы инновационной инфраструктуры Москвы: наукоград г. Троицка, ОЭЗ ТВТ «Зеленоград», Инновационный центр Сколково, функционирование которых осуществляется с привлечением средств федерального бюджета.

Представленные в табл. 1 данные максимально приближены к достоверной информации о развитии инновационной инфраструктуры Москвы. При этом не следует исключать и

погрешность в представлении сведений об инновационной инфраструктуре России в системе НИАЦ МИИРИС, причины которой были описаны в работе [2].

Таблица 1

**Инновационная инфраструктура в системе НИАЦ МИИРИС**

| Элементы инновационной инфраструктуры                                     | РФ    | Москва |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|--------|
| По типам субъектов инновационной деятельности                             |       |        |
| Образовательные организации высшего образования                           | 581   | 93     |
| Организации, выполняющие научные исследования и разработки                | 834   | 332    |
| ХО (ХП), созданные образовательными организациями и научными учреждениями | 2 886 | 313    |
| По элементам производственно-технологической инфраструктуры               |       |        |
| Технопарки                                                                | 80    | 30     |
| Бизнес-инкубаторы                                                         | 167   | 18     |
| Центры коллективного пользования                                          | 80    | 15     |
| Центры трансфера технологий                                               | 112   | 3      |
| Инжиниринговые центры                                                     | 52    | 10     |
| По форме федеральной поддержки                                            |       |        |
| Технопарки в сфере высоких технологий                                     | 12    | 1      |
| Особые экономические зоны технико-внедренческого типа                     | 6     | 1      |
| Инновационный центр «Сколково»                                            | 1     | 1      |
| Наукограды                                                                | 13    | 1      |
| Государственные научные центры                                            | 48    | 21     |
| Инновационные территориальные кластеры                                    | 25    | 2      |

Формирование инновационной инфраструктуры в Москве идет по классической схеме, принятой на федеральном уровне. Можно выделить территориальные образования, являющиеся неотъемлемой составляющей инновационной инфраструктуры Москвы (наукоград, инновационный центр, особая экономическая зона технико-внедренческого типа).

В свою очередь, на территориях этих объектов при федеральной и региональной поддержке получили развитие отдельные элементы инновационной инфраструктуры, представленные в табл. 2.

Особое место в инновационной инфраструктуре Москвы следует отвести технопаркам. В настоящее время на территории Москвы функционирует порядка 30 технопарков. Москва является лидером среди субъектов Российской Федерации по количеству действующих технопарков.

Наибольшая активность по созданию технопарков приходится на второй этап инновационной политики Москвы, стимулом которого стала, на наш взгляд, государственная программа Москвы, утвержденная постановлением Правительства Москвы от 11.10.2011 № 477-ПП. Так, одним из индикаторов государственной программы Москвы является увеличение количества специализированных территорий с трех в 2012 г. до 16 в 2018 г. В свою очередь, к специализированным территориям на основании государственной программы Москвы относят индустриальные парки, технопарки, технополисы, территории опережающего промышленного развития.

Таблица 2

**Элементы инновационной инфраструктуры территориальных образований города Москвы, внесенные в БД НИАЦ МИИРИС**

| Территориальное образование  | Элементы инновационной инфраструктуры                                                                                                                                            |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Инновационный центр Сколково | Некоммерческая организация Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий                                                                                   |
|                              | Кластер биомедицинских технологий «Сколково»                                                                                                                                     |
|                              | Кластер информационных технологий «Сколково»                                                                                                                                     |
|                              | Кластер космических технологий и телекоммуникаций «Сколково»                                                                                                                     |
|                              | Кластер энергоэффективных технологий «Сколково»                                                                                                                                  |
|                              | Кластер ядерных технологий «Сколково»                                                                                                                                            |
|                              | Общество с ограниченной ответственностью «Таможенно-финансовая компания инновационного центра «Сколково»                                                                         |
|                              | Общество с ограниченной ответственностью «Центр интеллектуальной собственности «Сколково»                                                                                        |
|                              | Технопарк Сколково                                                                                                                                                               |
| Наукоград г. Троицка         | Троицкий технопарк Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (далее – ФИАН)                                                                               |
|                              | Нанотехнологический центр «ТехноСпарк»                                                                                                                                           |
|                              | Технопарк «Тиснум»                                                                                                                                                               |
|                              | Троицкий инновационный кластер «Новые материалы, лазерные и радиационные технологии»                                                                                             |
|                              | Муниципальный бизнес-инкубатор на территории городского округа Троицк                                                                                                            |
|                              | Частный технопарк «ТехноСпарк»                                                                                                                                                   |
|                              | ЦКП «Оптико-спектральные исследования» ИСАН                                                                                                                                      |
|                              | ЦКП «Исследования наноструктурных, углеродных и сверхтвердых материалов» ФГБНУ ТИСНУМ                                                                                            |
| ОЭЗ ТВТ «Зеленоград»         | Технопарк «Элма»                                                                                                                                                                 |
|                              | Кластер «Зеленоград»                                                                                                                                                             |
|                              | Бизнес-инкубатор «Зеленоград»                                                                                                                                                    |
|                              | Центр коллективного пользования «Микросистемная техника и электронная компонентная база» Национального исследовательского университета «Московский институт электронной техники» |
|                              | Центр коммерциализации и трансфера технологий Национального исследовательского университета «Московский институт электронной техники»                                            |

Необходимо отметить, что технопарки, функционирующие на территории Москвы, отличаются друг от друга по форме создания, а также системе формирования и организации.

На этом основании технопарки Москвы можно классифицировать по различным основаниям:

1. По форме учета в системе НИАЦ МИИРИС:
  - структурные подразделения субъектов инновационной деятельности;
  - субъекты инновационной деятельности (СИД);
  - объекты инновационной инфраструктуры (ОИИ).

Таблица 4

Технопарки г. Москвы как ОИИ в НИАЦ МИИРИС

| Наименование технопарка           | Нормативно-правовое регулирование ОИИ | Управляющая компания                                                                                 | Учредитель управляющей компании                              | Нормативно-правовое регулирование управляющей компании                                                                                                          |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Технологический парк Визбас       | —                                     | Общество с ограниченной ответственностью «ВИЗБАС»                                                    | Частная собственность                                        | —                                                                                                                                                               |
| Технологический парк Мосгормаш    | —                                     | Государственное унитарное предприятие города Москвы «Научно-производственное объединение «МОСГОРМАШ» | Правительство Москвы комитет по управлению имуществом Москвы | —                                                                                                                                                               |
| Технологический парк Слава        | —                                     | Акционерное общество «Технопарк Слава»                                                               | Частная собственность                                        | —                                                                                                                                                               |
| Технологический парк Строгино     | —                                     | Казенное предприятие города Москвы «Технопарк «Строгино»                                             | Частная собственность                                        | —                                                                                                                                                               |
| Технологический парк «Калибр»     | —                                     | Открытое акционерное общество «Калибр»                                                               | Комитет по управлению имуществом города Москвы               | Распоряжение Правительства Москвы от 03.02.2016 № 32-РП «О присвоении статуса управляющей организации технологического парка, резидента технологического парка» |
| Технологический парк «Отрадное»   | —                                     | Акционерное общество «Центр холодно-транспортных технологий «МОТЕК-Ц»                                | Комитет по управлению имуществом города Москвы               | —                                                                                                                                                               |
| Технологический парк «Сапфир»     | —                                     | Публичное акционерное общество «Научно-производственное предприятие «САПФИР»                         | Нет данных                                                   | —                                                                                                                                                               |
| Технологический парк «ТехноСпарк» | —                                     | Общество с ограниченной ответственностью «ЦЕНТР РАЗВИТИЯ БИЗНЕСА»                                    | Частная собственность                                        | Распоряжение Правительства Москвы от 31.03.2015 № 156-РП «О присвоении статуса управляющей организации технологического парка»                                  |

Продолжение таблицы 4

| Наименование технопарка                            | Нормативно-правовое регулирование ОИИ                                                                                                                     | Управляющая компания                                                                                                                      | Учредитель управляющей компании                                                                                                                                                                                | Нормативно-правовое регулирование управляющей компании                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Технопарк «Фотоника»                               | —                                                                                                                                                         | Открытое акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт «ЦИКЛОН»                                                     | АО «Российская электроника» Министерства имущественных отношений Российской Федерации                                                                                                                          | —                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Технопарк в сфере высоких технологий «Физтех-парк» | Распоряжение Правительства РФ от 10.03.2006 № 328-р «О государственной программе «Создание в Российской Федерации технопарков в сфере высоких технологий» | Общество с ограниченной ответственностью «Управляющая компания ФИЗТЕХ-21»                                                                 | Некоммерческое партнерство «ФИЗТЕХ-СОЮЗ» по поддержке и развитию МФТИ. Региональная общественная организация содействия продвижению интересов инженерно-технического сообщества «Русское техническое общество» | Распоряжение Правительства Москвы от 15.06.2016 № 283-РП «О присвоении статуса технопарка, промышленного комплекса, управляющей компании технопарка»                                                                                                                                                    |
| Технопарк ВТИ                                      | —                                                                                                                                                         | Открытое акционерное общество «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт» | Российское открытое акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России»                                                                                                                              | Распоряжение Правительства Москвы от 03.11.2015 № 641-РП «О присвоении статуса управляющей организации технологического парка»                                                                                                                                                                          |
| Технопарк ИТЭЛМА                                   | —                                                                                                                                                         | Общество с ограниченной ответственностью «ИТЭЛМА-БИЗНЕССТРОЙ»                                                                             | Частная собственность                                                                                                                                                                                          | Распоряжение Правительства Москвы от 03.02.2016 № 32-РП «О присвоении статуса управляющей организации технологического парка, резидента технологического парка»                                                                                                                                         |
| Технопарк Курчатовский институт                    | —                                                                                                                                                         | Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»                            | Правительство Российской Федерации                                                                                                                                                                             | Распоряжение Правительства РФ от 24.12.2015 № 2660-р «О перечне научных организаций, за которыми сохраняется статус государственного научного центра Российской Федерации», Распоряжение Правительства Москвы от 25.08.2016 № 440-РП «О присвоении статуса технопарка, управляющей компании технопарка» |

Продолжение таблицы 4

| Наименование технопарка    | Нормативно-правовое регулирование ОИИ | Управляющая компания                                                                                                    | Учредитель управляющей компании                                                                                                         | Нормативно-правовое регулирование управляющей компании                                                                                                                                                         |
|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Технопарк НАГАТИНО         | —                                     | Государственное унитарное предприятие города Москвы «Московский промышленно-торговый центр интeграции и развития»       | Департамент государственного и муниципального имущества города Москвы                                                                   | Распоряжение Правительства Москвы от 03.11.2015 № 641-РП «О присвоении статуса управляющей организации технологического парка»                                                                                 |
| Технопарк Научный парк МГУ | —                                     | Общество с ограниченной ответственностью «Научный парк Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова» | Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова» | Распоряжение Правительства Москвы от 03.02.2016 № 32-РП «О присвоении статуса управляющей организации технологического парка, резидента технологического парка»                                                |
| Технопарк Полюс            | —                                     | Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»                            | Нет данных                                                                                                                              | Распоряжение Правительства Москвы от 25.08.2016 № 440-РП «О присвоении статуса технопарка, управляющей компании технопарка»                                                                                    |
| Технопарк Пульсар          | —                                     | Акционерное общество «Государственный завод «ПУЛЬСАР»                                                                   | Нет данных                                                                                                                              | Распоряжение Правительства Москвы от 03.11.2015 № 641-РП «О присвоении статуса управляющей организации технологического парка»                                                                                 |
| Технопарк Связь инжиниринг | —                                     | Акционерное общество «Связь инжиниринг»                                                                                 | Частная собственность                                                                                                                   | Распоряжение Правительства Москвы от 25.08.2016 № 440-РП «О присвоении статуса технопарка, управляющей компании технопарка»                                                                                    |
| Технопарк Сколково         | —                                     | Общество с ограниченной ответственностью «Технопарк «Сколково»                                                          | Некоммерческая организация фонд развития центра разработки и коммерциализации новых технологий                                          | Постановление Правительства Москвы от 21.07.2015 № 449-ПП «О внесении изменений в постановление Правительства Москвы от 18 сентября 2012 г. № 492-ПП и присвоении статуса управляющей организации технополиса» |



Окончание таблицы 4

| Наименование технопарка | Нормативно-правовое регулирование ОИИ                                                                                                                   | Управляющая компания                                                                                     | Учредитель управляющей компании                                                                  | Нормативно-правовое регулирование управляющей компании                                                                                                         |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Технопарк Темп          | —                                                                                                                                                       | Акционерное общество «Московский радиоавтомобильный завод «ТЕМП»                                         | Министерство имущественных отношений Российской Федерации и частная собственность                | Распоряжение Правительства Москвы от 03.02.2016 № 32-РП «О признании статуса управляющей организации технологического парка, резидента технологического парка» |
| Технопарк Тиснум        | —                                                                                                                                                       | Общество с ограниченной ответственностью «Индустриальные углеродные технологии»                          | Частная собственность                                                                            | Распоряжение Правительства Москвы от 03.02.2016 № 32-РП «О признании статуса управляющей организации технологического парка, резидента технологического парка» |
| Технопарк Элма          | —                                                                                                                                                       | Акционерное общество «ЭЛМА»                                                                              | Государственный комитет по управлению государственным имуществом РФ                              | Распоряжение Правительства Москвы от 03.11.2015 № 641-РП «О признании статуса управляющей организации технологического парка»                                  |
| Технопарк «НИИССУ»      | —                                                                                                                                                       | Акционерное общество «Научно-исследовательский институт систем связи и управления»                       | Нет данных                                                                                       | Распоряжение Правительства Москвы от 25.08.2016 № 440-РП «О признании статуса технопарка, управляющей компании технопарка»                                     |
| Технополис Москва       | Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.02.2016 № 322-р «Об утверждении перечня проектов по созданию индустриальных парков и технопарков» | Государственное унитарное предприятие города Москвы «Строительство и эксплуатация промышленных объектов» | Департамент городского имущества города Москвы                                                   | —                                                                                                                                                              |
| Технопарк Модуль        | —                                                                                                                                                       | Закрытое акционерное общество Научно-технический центр «МОДУЛЬ»                                          | НИИ радиоприборов.<br>Межгосударственная акционерная корпорация ВММПЕЛ.<br>Частная собственность | Распоряжение Правительства Москвы от 15.06.2016 № 283-РП «О признании статуса технопарка, промышленного комплекса, управляющей компании технопарка»            |

В качестве структурных подразделений технопарки функционируют в образовательных учреждениях, а также в научном учреждении (табл. 3).

Что же касается юридических лиц, то в качестве примера можно выделить Автономную некоммерческую организацию «Международный научно-технологический парк «Технопарк в Москворечье», одним из учредителей которого является Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Развитие инновационной деятельности в вузах и научных учреждениях позволило в дальнейшем технопаркам получить поддержку на федеральном уровне, а потом и на региональном уровне. По этой причине формирование технопарков должно осуществляться согласно требованиям, утвержденным нормативными правовыми актами на соответствующих уровнях.

2. По принадлежности и форме собственности:

- технопарки, созданные на базе образовательных организаций высшего образования;
- технопарки, созданные на базе научных учреждений;
- региональные технопарки;
- частные технопарки.

Указанные категории явно просматриваются через представленную в табл. 4 цепочку организаций, которая выстраивается благодаря созданному в информационной системе НИАЦ МИИРИС функционалу.

По данным табл. 4 видно, что два технопарка Москвы развиваются при федеральной поддержке, а 17 технопарков – в рамках программы инновационной деятельности Правительства Москвы.

Одним из направлений развития инновационной инфраструктуры г. Москвы является создание и поддержка технополисов. Деятельность технополисов в настоящее время регламентируется законом г. Москвы от 07.10.2015 г. № 55 «О промышленной политике». Законодательство Москвы, в соответствии со ст. 1 рассматриваемого закона, относит технополисы к технопаркам, но расширяя это понятие наличием «комплекса объектов социального назначения, созданных для развития научно-производственного комплекса инновационных и высокотехнологических производств в сочетании с развитием комфортного жизненного пространства».

В настоящее время Правительство г. Москвы присвоило статус технополиса в соответствии с действующим законодательством двум объектам, информация о которых была представлена ранее: технопаркам Москва и Сколково.

Бизнес-инкубаторы по аналогии с технопарками на территории Москвы могут функционировать в виде структурных подразделений СИД, или же как ОИИ. Часто встречаются бизнес-инкубаторы в составе технопарков. В результате проведенной работы в БД НИАЦ МИИРИС внесена информация о 14 бизнес-инкубаторах.

Большая часть других видов элементов инновационной инфраструктуры (инжиниринговые центры, центры трансфера технологий, центры коллективного пользования) функционируют как структурные подразделения научных учреждений или образовательных организаций, реже они встречаются в промышленном комплексе.

В данной работе представлены результаты исследования, которые позволяют наиболее полно формировать и систематизировать информацию о существующих элементах инновационной инфраструктуры Москвы в НИАЦ МИИРИС.

Структуризация информации в системе НИАЦ МИИРИС направлено на отражение основных тенденций развития инновационной инфраструктуры страны, а также сопоставление государственной политики с существующей практикой развития инновационной инфраструктуры.

Полученные результаты дают возможность оценить потенциал г. Москвы с точки зрения выполняемых участниками инновационного процесса функций, направленных на поддерж-

ку и развитие инновационной деятельности в целом. При этом не ставится задача оценить экономическую эффективность инновационной инфраструктуры.

В отношении инновационной инфраструктуры Москвы следует указать на значительный вклад федеральных и региональных программ, которые стали основными мотиваторами развития инновационной системы города и роста количества элементов инновационной инфраструктуры.

*Работа выполнена ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания по проекту № 26.4430.2017/НМ.*

### **Список литературы**

1. Плиева З.Р. Методы и инструменты учета основных элементов инновационной инфраструктуры Российской Федерации. Методическое пособие. М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2015. 90 с.
2. Бахтурин Г.И., Турко Т.И., Плиева З.Р., Гудкова А.А., Одинцова Н.Н., Ольшевский Д.В. Мониторинг как инструмент оценки состояния национальной инновационной инфраструктуры. Инноватика и экспертиза. Научные труды. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. Вып. 3(18). Москва, 2014. С. 8–23.

### **References**

1. Plieva Z.R. (2015) *Metody i instrumenty ucheta osnovnykh elementov innovatsionnoy infrastruktury Rossiyskoy Federatsii. Metodicheskoe posobie* [Methods and tools for accounting for the main elements of the innovation infrastructure of the Russian Federation. Methodological manual] *FGBNU NII RINKTsE* [SRI FRCEC], Moscow, 90 p.
2. Bakhturin G.I., Turko T.I., Plieva Z.R., Gudkova A.A., Odintsova N.N., Olshevsky D.V. (2014) *Monitoring kak instrument otsenki sostoyaniya natsional'noy innovatsionnoy infrastruktury* [Monitoring as a tool for assessment of the national innovation Infrastructure] *Innovatika i ekspertiza. Nauchnye trudy. FGBNU NII RINKTsE* [Innovatics and Expert Examination. Scientific works. SRI FRCEC], Moscow, vol. 3(18), pp. 8–23.

## ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Д.Б. Изюмов**, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [izyumov@extech.ru](mailto:izyumov@extech.ru)

**Е.Л. Кондратюк**, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [kel@extech.ru](mailto:kel@extech.ru)

*В статье рассмотрены процесс коммерциализации инновационных технологий, его основные формы и вопросы формирования стратегии коммерциализации результатов НИОКР. Проанализирован опыт развития коммерциализации технологий в ведущих зарубежных странах, включая ее финансовое и юридическое обеспечение. Обобщены вопросы возникновения прав на интеллектуальную собственность в ряде европейских стран. Акцент сделан на американский опыт коммерциализации инновационных технологий.*

**Ключевые слова:** коммерциализация технологий, трансфер технологий, инновации, результаты интеллектуальной деятельности, объекты интеллектуальной собственности, результаты научно-технической деятельности, обеспечение коммерциализации, механизм взаимодействия.

## FOREIGN EXPERIENCE OF COMMERCIALIZATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES

**D.B. Izyumov**, Head of Department, SRI FRCEC, [izyumov@extech.ru](mailto:izyumov@extech.ru)

**E.L. Kondratyuk**, Senior Researcher, [kel@extech.ru](mailto:kel@extech.ru)

*The article discusses the process of commercialization of innovative technologies, its main forms and the issues of forming a strategy for the commercialization of R & D results. The experience of commercialization of technologies in leading foreign countries, including its financial and legal support, is analyzed. The issues of the emergence of intellectual property rights in a number of European countries are generalized. The emphasis is on the American experience of commercialization of innovative technologies.*

**Keywords:** technology commercialization, technology transfer, innovations, intellectual property results, intellectual property objects, results of scientific and technical activity, commercialization, interaction mechanism.

Ранее авторами данной статьи была представлена публикация «Коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности» [1], в которой рассматривались общая взаимосвязь результатов научно-технической деятельности, результатов интеллектуальной деятельности и объектов интеллектуальной собственности, их классификация и краткое описание. В настоящей статье акцент сделан на раскрытие понятия коммерциализации инновационных технологий и зарубежный опыт ее развития в ведущих странах мира.

Коммерциализация инновационных технологий (далее — технологий) подразумевает процесс, связанный с практическим использованием результатов научных исследований и разработок с целью вывода на рынок новых или улучшенных продуктов, услуг или процессов с достижением коммерческого эффекта. Коммерциализация, как правило, начинается там, где этапы НИР и ОКР уже в основном закончены и начинается этап технологических работ, то есть имеется четко определенный продукт (технология) или услуга, обладающие свойствами и преимуществами, представляющими ценность для коммерческих потребителей. Коммерциализация заканчивается, когда продукт успешно выведен на рынок — в общем случае, когда достигнута точка безубыточности, то есть доход от продаж превышает

операционные расходы. При этом коммерциализация может принимать три основные формы (в тот момент, когда проект становится инвестиционно привлекательным):

- запуск нового бизнес-проекта для коммерческого использования технологии;
- продажа лицензии на использование технологии существующему бизнесу;
- эксплуатация технологии путем предоставления услуг, включая техническое консультирование, аналитические и экспертные услуги, а также исследования по контрактам.

Формирование стратегии коммерциализации результатов НИОКР предполагает:

- изучение и оценку спроса (маркетинг потребительских рынков, маркетинг технологий);
- определение стратегии использования интеллектуальной собственности;
- определение источников финансирования (привлечение венчурных инвесторов);
- разработку бизнес модели (-ей) [2].

Далее детально рассмотрим опыт развития коммерциализации технологий в таких ведущих странах мира как США, основные страны Евросоюза (Германия, Франция, Австрия, Бельгия, Дания, Италия, Испания, Португалия, Великобритания, Ирландия, Швеция) и Япония.

Исследование опыта развития коммерциализации технологий в указанных странах мира показывает, что главной тенденцией в разработке механизма введения в хозяйственный оборот результатов научно-технической деятельности и объектов интеллектуальной собственности, созданных за счет государственных средств, является совершенствование финансового и юридического обеспечения коммерциализации (табл. 1 и 2 соответственно) [3, 4].

В табл. 3 обобщены вопросы возникновения прав на интеллектуальную собственность в ряде европейских стран, созданную за счет или с привлечением бюджетных средств, распределения лицензионных вознаграждений (роялти) между исследователями и организациями, а также отражены стимулы для исследователей с целью дальнейшей коммерциализации собственных результатов научно-технической деятельности [5].

Анализ представленных данных показывает, что ведущей страной в области коммерциализации технологий являются США.

Само государство уже более полувека является активным субъектом научно-технологической политики. Но его роль выходит далеко за пределы прямого финансирования НИОКР и заключается также в разработке механизмов защиты прав интеллектуальной собственности, определении наиболее перспективных и важных направлений исследований, разработке стратегии технологического развития страны, в создании условий для развития частной инициативы. Активное участие государства в инновационной сфере обусловлено критически важным значением новых технологий для поддержания национальной безопасности и конкурентоспособности страны на мировой арене.

Более того, за последние 10–15 лет в США был отработан ряд процедур и программ для уменьшения рисков бюджетного финансирования НИОКР. Была качественно реформирована национальная система внедрения новейших научно-технических достижений, созданы благоприятные условия для принятия решений о развертывании широкомасштабных ОКР в условиях непрерывного сокращения сроков полезного использования технологий.

В целом, в США с периодичностью в полгода открывается масса работ, цель которых – реализовать достижение, полученное только в этом году. Также действует программа развития инноваций в малом бизнесе и программа передачи технологий в сфере малого бизнеса. Эти программы наиболее чувствительны к научным достижениям небольших компаний и частных лиц. Система позволяет быстро на практике проверить как реализуемость идеи, так и параметры эффективности разработки. Кроме того, в США велик объем экспериментальной работы по оценке характеристик и показателей изделий – речь идет о демонстрационных, показательных и эксплуатационных испытаниях. В США система формирования научно-технического прогресса ориентирована на быструю проверку реализуемости самой научной идеи и своевременную оценку показателей эффективности связанных с ней разработок.



Т а б л и ц а 1

Опыт финансового обеспечения коммерциализации технологий в ведущих странах мира

| Финансовое обеспечение                                                                    | Механизм принятия решения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Реализован в странах                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Совершенствование механизма государственной финансовой поддержки НИОКР                    | Государственное кредитование (возвратное) и гранты; государственные гарантии для получения банковских кредитов; размещение госзаказа на НИОКР стратегически важной продукции; долевое участие в научных исследованиях (до 50%); налоговые льготы; ускоренная амортизация; экспортно-импортные квоты для поддержки национального наукоемкого продукта; отсрочки по уплате налогов при инвестировании в собственные НИОКР; финансирование государством расходов на поддержание патентов и обеспечение их защиты при бюджетном финансировании результатов (около 10% стоимости НИОКР идет на защиту патентов); право относить на себестоимость продукции полностью все расходы на НИОКР | США, Италия, Бельгия, Великобритания, Швеция |
| Стимулирование частных инвестиций                                                         | Наличие или создание патентных и венчурных компаний, являющихся филиалами холдинговых компаний. Отсутствие двойного налогообложения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | США, Швеция,                                 |
| Улучшение налогообложения научных исследований                                            | Оказание государством практической помощи и консультаций в составлении отчетов о структуре интеллектуальной собственности (ИС) для поиска инвесторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | США, ЕС                                      |
| Поддержка национальных производителей инноваций                                           | Внедрение современных механизмов снижения материальных затрат на НИОКР (опережение заказчика на этапе научного поиска, защита будущего рынка, привлечение иностранных ученых – носителей знаний о созданном интеллектуальном продукте, ранняя защита торговых марок). Поддержка программы развития национальных брендов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | США, ЕС, Япония                              |
|                                                                                           | Поддержка малого и среднего инновационного бизнеса посредством ограничения влияния крупнейших фирм-владельцев ИС путем ужесточения антимонопольного законодательства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | США, ЕС                                      |
|                                                                                           | Софинансирование инициатив компаний через систему лицензирования или создания спин-офф-компаний (государственная поддержка около 20 агентств по патентованию и использованию патентов, агентства по оценке и коммерциализации инноваций для нескольких университетов региона, а также для неуниверситетских исследовательских учреждений)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Германия, Великобритания                     |
| Усиление профессионализации трансфера технологий, включая переход от НИИ к промышленности | Финансирование инновационных проектов на ранних этапах (непрерывное финансирование, консультирование и генерирование сделок помогает поддержать НИОКР на ранней стадии жизненного цикла и предъявить результаты национальным и международным инвесторам)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Великобритания                               |
|                                                                                           | Софинансирование инициатив компаний, облегчающих процесс патентования и коммерциализации через систему лицензирования или создания спин-офф-компаний                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Германия                                     |
| Отбор высокорентабельных результатов для коммерциализации                                 | Разработка и развитие механизма инновационного посредничества между государственными НИОКР, академическими исследованиями и частным бизнесом – организаций по трансферу технологий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | США, ЕС                                      |



Таблицы 2

Опыт и условия юридического обеспечения коммерциализации технологий в ведущих странах мира

| Правовые проблемы                                                              | Механизм принятия решения                                                                                                                                                    | Реализован в странах                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Закрепление права собственности на результаты научных исследований             | Закрепление за организацией-работодателем юридических прав на созданные ученым результаты научных исследований                                                               | Австрия, Бельгия, Дания, Германия, США, Великобритания, Ирландия |
| Оценка патентоспособности                                                      | Использование системы спин-офф-компаний и патентных агентств.                                                                                                                | Германия                                                         |
| Стимулирование ученых по трансферу результатов научной деятельности            | Право владения акциями в созданных компаниях при условии сохранения статуса ученого Государственного НИИ в течение шести лет                                                 | Германия, Италия, Франция, Испания, Португалия                   |
|                                                                                | Право Государственного НИИ одновременно выполнять функции доктора наук и предпринимателя                                                                                     | Франция                                                          |
|                                                                                | Равнозначие приоритетного или неприоритетного использования научных результатов (за исключением военной области)                                                             | ЕС                                                               |
| Ответственность за коммерциализацию результатов, полученных за счет госбюджета | Через систему инновационных инфраструктурных посредников (офисы коммерциализации: государственно-частные и частные)                                                          | Франция                                                          |
| Контроль за использованием государственных расходов на НИ-ОКР                  | Исследователь имеет право вкладывать бюджетные деньги в создание инновационных компаний                                                                                      | Бельгия, Германия, Франция, США                                  |
|                                                                                | Контроль через систему инновационных посредников и независимых аудиторов посредством использования системы тендеров                                                          | Франция                                                          |
| Вовлечение академической науки в инновационный процесс                         | Практика проведения мониторинга и оценки принятых решений с представлением правительством в Парламент отчета за три года с оценкой научных, кадровых и налоговых результатов | Франция                                                          |
| Защита инновационного лидерства                                                | Одновременность защиты находящейся в международном обороте интеллектуальной собственности и составление списка стран – нарушителей прав на интеллектуальную собственность    | США                                                              |

Таблица 3

**Права на интеллектуальную собственность, созданную за счет или с привлечением бюджетных средств, и стимулы для коммерциализации (краткий обзор по европейским странам)**

| Страна         | Право на интеллектуальную собственность, созданную за счет или с привлечением бюджетных средств                                                                                                                                                                                                                                                                         | Лицензионное вознаграждение (роялти)                                                                                                                                                                                                                  | Другие стимулы для исследователя                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Австрия        | Государственные исследовательские организации (ГИО). Новые изобретения должны быть рассмотрены руководством организации. Руководство в течение трех месяцев должно определить степень ценности изобретения для продолжения дальнейших разработок. Если в течение трех месяцев решение не принимается, то право на изобретение автоматически передается его изобретателю | Разделение лицензионных вознаграждений (роялти) между исследователями и ГИО определено политикой ГИО в области интеллектуальной собственности                                                                                                         | Нет данных                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Великобритания | Государственные исследовательские организации                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Разделение лицензионных вознаграждений (роялти) между исследователями и ГИО определено политикой ГИО в области интеллектуальной собственности                                                                                                         | Нет данных                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Франция        | Государственные исследовательские организации                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1) Исследователи (изобретатели) получают 50% от общей суммы роялти, полученной институтом от промышленных партнеров, в то время как университеты получают оставшиеся 50%<br>2) В ГИО неупределенного типа prevailed распределения доходов варьируются | 1) Исследователи ГИО могут владеть до 15% акций в созданных инновационных компаниях при условии сохранения своего статуса государственного служащего в течение шести лет<br>2) Исследователи ГИО могут тратить до 20% своего времени, обеспечивая научную поддержку компаниям при сохранении своего статуса государственного служащего |

Продолжение таблицы 3

| Страна   | Право на интеллектуальную собственность, созданную за счет или с привлечением бюджетных средств                          | Лицензионное вознаграждение (роялти)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Другие стимулы для исследователя                                                                                                                                                                               |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Германия | Государственные исследовательские организации (с 2002 г.)                                                                | Является предметом индивидуальных договоренностей и политики институтов в сфере прав на интеллектуальную собственность                                                                                                                                                                                                                                                               | Нет данных                                                                                                                                                                                                     |
| Италия   | Исследователь (с 2001 года).<br>До этого периода права на ИС принадлежали государственным исследовательским организациям | ГИО получают по меньшей мере 30% (но не более 50%) от лицензионных вознаграждений (роялти) в случае отсутствия внутреннего Устава                                                                                                                                                                                                                                                    | Исследователи ГИО могут работать в качестве вспомогательного технического персонала на предприятиях в течение четырех лет, в течение которых компании обязаны обеспечить им выплату дополнительной компенсации |
| Испания  | Государственные исследовательские организации                                                                            | 1) В ГИО неуниверситетского типа 1/3 поступлений от роялти идет ГИО, 1/3 – изобретателю и 1/3 распределяется Совету правления, который свою долю распределяет согласно варьирующимся критериям<br>2) В университетах распределение от роялти осуществляется согласно внутреннему Уставу каждого учреждения. Как правило, изобретатели получают между 1/3 и 1/2 финансовых отчислений | Сотрудник ГИО имеет право работы на частного заказчика (дочернюю компанию) в течение четырех лет без потери своей должности                                                                                    |

Постоянно совершенствующаяся нормативно-правовая база США, регламентирующая трансфер технологий<sup>1</sup>, не только определила механизмы государственно-частного взаимодействия в части, касающейся повышения национальной конкурентоспособности в мировой экономике, но и стала основой формирования принципиально новой инфраструктуры для их реализации и дальнейшего развития.

Законодательство США в области коммерциализации технологий условно можно разделить на три блока:

1. Организационный блок — перечень законов, устанавливающий и наделяющий самыми широкими полномочиями по коммерциализации технологий такие важнейшие министерства и ведомства США как Министерство обороны, Министерство энергетики, Министерство здравоохранения и социального обеспечения, НАСА, Национальный научный фонд и др. Стоит подчеркнуть, что перечисленные выше пять ведомств играют особую роль в сфере научных исследований и разработок США, поскольку на них приходится более 94% от общей суммы ежегодных федеральных ассигнований на научные исследования [6].

2. Блок трансфера технологий малому бизнесу — законы, регулирующие развитие инновационной деятельности в малом бизнесе, коммерциализацию технологий субъектами малого бизнеса, финансовую поддержку и кооперацию организациями федерального и регионального уровней малого бизнеса и т.п. В законодательстве США важное внимание уделяется развитию малого бизнеса как одного из эффективных инструментов по трансферу технологий. В частности, учрежден ряд соответствующих программ в области малого бизнеса (например, программы SBIR, STTR и другие, см. ниже).

3. Стимулирующий блок — законы, нацеленные преимущественно на финансовую стимуляцию (получение роялти, поощрение, вознаграждение) ученых, инженеров, организаций, проводящих всевозможные мероприятия по трансферу технологий и тесно взаимодействующих с федеральными министерствами и лабораториями. Сюда же можно отнести различные разрешающие и облегчающие процедуры в области коммерциализации технологий (например, возможность получения эксклюзивных лицензий частными компаниями; сохранения прав собственности на ряд изобретений, сделанных при поддержке правительства страны; заключения контрактов и договоров по трансферу технологий федеральными организациями с посредниками и частными компаниями по собственному усмотрению и др.), снимающие ряд проблем бюрократического характера.

Особый интерес представляет ряд специальных федеральных программ США по обеспечению финансирования в виде грантов или других денежных кредитов представителям бизнеса или академической науки, участвующим в коммерциализации технологий [7]. Данные программы являются важнейшим механизмом государственного стимулирования коммерциализации технологий и характеризуются тремя основными критериями:

- ростом финансирования и его последовательным перераспределением в пользу межотраслевых (межведомственных) проектов;
- направленностью новых проектов в области высоких технологий на решение глобальных (стратегических) задач;
- приоритетностью государственного финансирования фундаментальных исследований и разработок по широкому спектру научных направлений.

Среди наиболее масштабных и ключевых программ (инициатив), которые предусматривают такое финансирование целесообразно выделить:

- Программу инновационных исследований малого бизнеса (SBIR — Small Business Innovation Research) [8];

<sup>1</sup> Трансфер технологий, с юридической точки зрения, является совокупностью коммерческих сделок по передаче прав на данные технологии. С экономической точки зрения, это взаимовыгодный обмен знаниями и технологиями между государством, частно-промышленным сектором и академической наукой.

- Программу передачи технологий малому бизнесу (STTR – Small Business Technology Transfer) [9];

- Программу использования научных открытий и технологий двойного назначения (Dual-Use Science and Technology Program) [10];

- Инициативу американской конкурентоспособности (ACI – American Competitiveness Initiative) [11].

Программа инновационных исследований малого бизнеса (SBIR) реализуется целым рядом министерств и ведомств США, среди которых:

- Министерство обороны (МО), включая министерства Армии, ВВС, ВМС, а также Специальное оперативное командование, Агентство по снижению угроз обороне (DTRA) и другие;

- Министерство энергетики;

- Министерство образования;

- Министерство транспорта;

- Министерство здравоохранения и социального обеспечения, включая Национальный институт здравоохранения;

- Министерство сельского хозяйства;

- Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА);

- Национальный научный фонд (ННФ);

- Администрация малого бизнеса.

Контракты по программе SBIR предоставляются по результатам конкурсов среди организаций и предприятий малого бизнеса (коммерческий бизнес с количеством занятых менее 500 человек), которые представляют предложения по темам, объявленным агентствами. Выбор темы у различных агентств различается. В некоторых случаях агентства определяют темы и принимающие участие в конкурсе деловые круги не имеют каких-либо дополнительных сведений относительно предложенной темы, не могут вносить каких-либо иных предложений, отличных от выбранной темы и не должны входить в контакт с какими-либо другими агентствами. В других случаях представители малого бизнеса совместно с агентством могут, фактически, предлагать выбор темы и, когда тема будет представлена в качестве утвержденной для проведения открытого соревнования, уже будет существовать хорошо осведомленный претендент на ее реализацию.

Программа SBIR определяет три стадии для каждого проекта:

Фаза I – стадия, в ходе которой определяется выполнимость выбранной концепции. Она может быть профинансирована в период до 6 месяцев через фонды программы. Размеры финансирования могут составлять от 70 до 100 тыс. долл.

Фаза II – предполагает проведение конкурса между победителями Фазы I. Фаза II обычно предполагает финансирование в течение двух лет за счет средств, выделенных на программу в размере от 600 тыс. до 750 тыс. долл. Предложения II-ой фазы должны иметь статус инновационных.

Фаза III – представляет собой сам процесс коммерциализации, т.е. непосредственную реализацию результатов фазы II и уже не финансируется за счет средств, выделенных на программу. Замысел программы заключается в том, чтобы малый бизнес имел возможность привлечь внешние источники финансирования. В некоторых случаях для фазы II могут привлекаться другие государственные и негосударственные средства и фонды.

Стоит подчеркнуть, что финансирование программы SBIR с начала ее реализации неуклонно возрастало.

Наибольшую заинтересованность участвовать в реализации программы инновационных исследований малого бизнеса изначально продемонстрировали пять федеральных ведомств: МО, Министерство здравоохранения и социального обеспечения, Министерство энергети-



ки, НАСА и ННФ, размеры инвестиций которых значительно превосходили долю остальных участников.

В целом программа отличается большим количеством федеральных ведомств, вовлеченных в ее реализацию.

Программа передачи технологий малому бизнесу (STTR) предусматривает финансирование начальной стадии исследований и разработок в размере до 600 тыс. долл., выделяемых непосредственно малым компаниям, работающим в кооперации с исследователями различных исследовательских институтов. Задачами программы является ликвидация финансовой пропасти, существующей между базовыми (фундаментальными) исследованиями и готовыми продуктами. Если представители малого бизнеса и исследователи НИО совместно работают в рамках данной программы, малый бизнес должен исполнить не менее 40%, а исследовательская организация — не менее 30% всех работ. При этом малый бизнес является доминирующим партнером и отвечает за менеджмент и управление бюджетом.

Финансирование программы STTR федеральными ведомствами значительно меньше программы SBIR.

Как и в случае с программой SBIR, ключевыми ведомствами, обеспечивающими выделение средств на реализацию STTR, выступают МО, Министерство здравоохранения и социального обеспечения, НАСА, Министерство энергетики и ННФ. Затраты первых двух министерств существенно превышают расходы других ведомств. Все это подтверждает, что именно эти два направления (ВПК и здравоохранение) имеют сегодня наибольший потенциал для осуществления трансфера технологий из государственного в частный сектор экономики США.

Программа использования научных открытий и технологий двойного назначения (DUST) предусматривает объединение усилий представителей промышленности и МО с целью повышения уровня технологий двойного назначения, необходимых как для военных, так и для коммерческих потребителей/заказчиков. Обе стороны распределяют между собой риски и выгоды, принимая во внимание тот факт, что в суть этих программ заложен интерес представителей бизнеса и МО.

Программа предполагает ежегодные тендеры, которые проводятся на основе четырех критериев:

- оборонной применимости (разработанная технология должна иметь военное применение);
- технической реализуемости в приемлемые сроки с пакетом управленческих предложений по проекту (усилия должны иметь строго технический характер с хорошо структурированным управленческим приложением);
- коммерческой жизнеспособности (технология, разработанная в соответствии с данной программой, должна быть коммерчески выгодной и обеспечивать экономию оборонного бюджета);
- распределения стоимости (50% стоимости всей программы должно быть поддержано консорциумом, внесшим предложения).

Разработка технологий двойного назначения проводится вне Федеральной Инструкции по закупкам (приобретениям) (FAR — Federal Acquisition Regulations). Данные проекты инвестируются партнерствами и должны удовлетворять интересам всех участников. Такие взаимоотношения обычно требуют большей гибкости, чем обычные федеральные контракты, которые, по сути, представляют собой отношения продавца и покупателя. Поэтому в программе используются совместные (кооперативные) соглашения или другие сделки в качестве финансовых инструментов для большинства проектов. Такие инструменты дают программе гибкость в отношении прав интеллектуальной собственности, привлекая, таким образом, фирмы, которые при других обстоятельствах не смогли бы иметь дело с федеральными органами и ведомствами.



Инициатива американской конкурентоспособности (АСІ) — является логическим продолжением федеральных программ, связанных с развитием коммерциализации технологий. Посредством этой программы Президентские бюджеты, начиная с 2008—2009 фин. гг., установили строгие обязательства по инвестированию в области фундаментальных исследований, которые способствуют продвижению знаний и технологий, используемых учеными смежных областей. Согласно этим документам программа АСІ предполагает удвоение, начиная с 2007 фин. г. в течение 10 лет, инвестиций в инновационно уполномоченные федеральные ведомства: ННФ, Управление по науке Министерства энергетики и Лаборатории Национального института по науке и технологиям Министерства торговли. В итоге, за период 2007—2016 гг. на научные исследования было выделено 50 млрд долл. бюджетного финансирования, а также сэкономлено дополнительно 86 млрд долл. в виде налоговых льгот.

Финансирование высокорисковых, но высокооплачиваемых исследований критически важных для национальных интересов США областей осуществляется посредством механизма ускорения и стимулирования создания инноваций. Примерами реализации данного механизма являются следующие программы [12]:

- Программа технологических инноваций (Technology Innovation Program, TIP). Предусматривает развитие партнерства малых инновационных компаний и университетов.
- Программа расширения партнерства с обрабатывающей промышленностью (MER).
- Программа предоставления грантов для установления связей академических учреждений с промышленностью (GOALI).
- Программа партнерств для инноваций (PFI).
- Программа центров кооперативных исследований «промышленность/университеты» (UCRC).
- Различные программы исследовательских центров, финансируемые Национальным научным фондом и другими ведомствами (в частности, ННФ финансирует приобретение дорогостоящего научного оборудования и средств обслуживания в «центрах коллективного пользования»).

Таким образом, можно констатировать тот факт, что в ведущих зарубежных странах и, в первую очередь, в США накоплен значительный опыт в области коммерциализации инновационных технологий, разработаны различные финансовые и юридические механизмы ее поддержки, включая программы стимулирования создания и продвижения инновационных продуктов конечному потребителю.

*Статья выполнена в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по результатам работ в рамках Государственного задания по проекту № 2.4260.2017/НМ.*

### **Список литературы**

1. Изюмов Д.Б., Кондратюк Е.Л. Коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности, журнал «Инноватика и экспертиза», вып. 2 (11), 2013.
2. Плехова Ю.О. Доклад конференции: Коммерциализация результатов НИОКР, 2007.
3. Комков Н.И., Бондарева Н.Н. Проблемы коммерциализации научных исследований и направления их решения // Проблемы прогнозирования. № 1, 2007.
4. Казанцев А.К., Киселев В.Н., Рубальтер Д.А., Руденский О.В. NBIC-технологии: Инновационная цивилизация XXI века. М.: ИНФРА-М, 2012.
5. Доклад межведомственной рабочей группы по подготовке предложений по совершенствованию законодательства Российской Федерации в области новых направлений осуществления научно-технологической и инновационной деятельности и международного проекта EUROPEAID «Наука и коммерциализация технологий» «Международный опыт коммерциализации технологий. Предложения для использования в российском законодательстве. М., 2005 г.
6. Рубальтер Д.А. Управление научно-технологическим комплексом М. 2008.

7. Department of Commerce USA. Grants and Cooperative Agreements Manual, 24 October 2016.
8. SBIR/STTR America's Seed Fund, 2016. Available at: <https://www.sbir.gov>.
9. Small Business Technology Transfer (STTR) Program. Small Business Administration Office of Investment and Innovation. February 24, 2014.
10. Dual Use Science & Technology (DUST) Program. December 28, 2015. Available at: <https://www.federallabs.org/Dual-Use-Science-Technology-DUST-Program>.
11. American Competitiveness Initiative. Available at: <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/state-oftheunion/2006/aci/index.html>.
12. Казанцев А.К., Рубвальтер Д.А. Государственно-частное партнерство в научно-инновационной сфере. М.: ИНФРА-М, 2011

## References

1. Izyumov D.B., Kondratyuk E.L. (2013), *Kommertsializatsiya rezul'tatov intellektual'noy deyatel'nosti* [Commercialization of the results of intellectual activity] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and Expertise]. Moscow, vol. 2 (11).
2. Plekhova Y.O. (2007) *Doklad konferentsii: Kommertsializatsiya rezul'tatov NIOKR* [Conference report: Commercialization of R & D results], Moscow.
3. Komkov N.I., Bondarev N.N. (2007) *Problemy kommertsializatsii nauchnykh issledovaniy i napravleniya ikh resheniya* [Problems of commercialization of scientific research and the direction of their solution]. *Problemy prognozirovaniya* [Problems of forecasting], Moscow, No. 1.
4. Kazantsev A.K., Kiselev V.N., Rubvalter D.A., Rudensky O.V. (2012) *NBIC-tehnologii: Innovatsionnaya tsivilizatsiya XXI veka* [NBIC-technologies: Innovative civilization of the XXI century] *INFRA-M* [INFRA-M], Moscow.
5. *Doklad mezhdvodomstvennoy rabochey gruppy po podgotovke predlozheniy po sovershenstvovaniyu zakonodatel'stva Rossiyskoy Federatsii v oblasti novykh napravleniy osushchestvleniya nauchno-tekhnicheskoy i innovatsionnoy deyatel'nosti i mezhdunarodnogo proekta EUROPEAID «Nauka i kommertsializatsiya tekhnologiy» «Mezhdunarodnyy opyt kommertsializatsii tekhnologiy. Predlozheniya dlya ispol'zovaniya v rossiyskom zakonodatel'stve* [Report of the interdepartmental working group on the preparation of proposals on improving the legislation of the Russian Federation in the field of new directions for the implementation of scientific, technical and innovative activities and the international project EUROPEAID «Science and commercialization of technologies. International experience in the commercialization of technologies» Proposals for use in Russian legislation], Moscow, 2005.
6. Rubwalter D.A. (2008) *Upravlenie nauchno-tekhnologicheskim kompleksom* [Management of scientific and technological complex], Moscow.
7. Department of Commerce USA. Grants and Cooperative Agreements Manual, 24 October 2016.
8. SBIR/STTR America's Seed Fund, 2016. Available at: <https://www.sbir.gov>.
9. Small Business Technology Transfer (STTR) Program. Small Business Administration Office of Investment and Innovation. February 24, 2014.
10. Dual Use Science & Technology (DUST) Program. December 28, 2015. Available at: <https://www.federallabs.org/Dual-Use-Science-Technology-DUST-Program>.
11. American Competitiveness Initiative. Available at: <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/state-oftheunion/2006/aci/index.html>.
12. Kazantsev A.K., Rubvalter D.A. (2011) *Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v nauchno-innovatsionnoy sfere* [Public-private partnership in the scientific and innovative sphere] *INFRA-M* [INFRA-M], Moscow.

## ЭКСПЕРТИЗА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ПУЛОВ И ГРУПП ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**П.Б. Мельник**, зам. ген. дир. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, доцент,  
*pmelnick@extech.ru*

*В статье предложен подход к формализации процесса формирования экспертных групп (пулов), основанный на применении методов комбинаторики, теории множеств и отношений, теории матриц, метрических алгоритмов классификации и логики предикатов. Даны определения понятий поискового образа эксперта и обособленной области компетенции.*

**Ключевые слова:** экспертно-аналитические исследования; научно-технический профиль; экспертный пул; экспертная группа; поисковый образ эксперта; область компетенции.

### METHODOLOGY OF FORMATION OF EXPERT POOLS AND GROUPS FOR CONDUCTION OF EXPERT-ANALYTICAL RESEARCHES

**P.B. Melnik**, Deputy Director General SRI FRCEC, Doctor of Engineering, Docent,  
*pmelnick@extech.ru*

*The article proposes an approach to formalization of expert groups (pools) forming process based on the application of the methods of combinatorics, set theory and relations, the theory of matrices, the classification metric algorithms and predicate logic. The definitions of search pattern of an expert and separate areas of expertise are given.*

**Keywords:** expert-analytical researches; scientific and technical profile; expert pool; expert group; search pattern of an expert; area of competence.

#### Введение

Формирование экспертных пулов и групп для проведения конкретных экспертно-аналитических исследований или экспертиз является важнейшей задачей организации экспертно-аналитической деятельности. Этой проблеме посвящено достаточно большое количество публикаций как отечественных, так и зарубежных авторов. Указанные публикации можно условно разделить на четыре группы.

К первой группе относятся статьи, связанные, главным образом, с проблемой описания некой целевой функции или интегрального показателя, тем или иным образом описывающих уровень компетентности, опыт, знания и навыки экспертов [4, 3].

Вторая группа объединяет статьи (например, [13]), тематика которых непосредственно направлена на решение задачи по подбору экспертов в пул, однако по большей части с точки зрения ее предварительной согласованности. Предлагаемые в них подходы носят, как правило, интуитивно-субъективный характер и слабо формализованы.

Статьи третьей группы (например, [16]) предлагают различные методики согласования мнений экспертов при подготовке окончательного заключения или выработке рекомендаций.

Наконец статьи четвертой группы (например, [14, 15]) рассматривают конкретные алгоритмы формирования экспертных пулов. Однако используемые в них методы предполагают однозначную жесткую связь на уровне формальных описаний между компетентностью экспертов и процедурой их отбора в группу.

Рассматриваемая в настоящей статье оригинальная методика инвариантна по отношению к методике расчета интегрального показателя компетентности эксперта и реализуется на основе четко структурированных исходных данных и формализованного подхода при организации процедур их обработки.

Прежде чем перейти к постановке задачи исследования введем ряд необходимых понятий.

Пул экспертов (или экспертный пул) представляет собой конечное множество экспертов, отобранных из произвольного реестра экспертов (далее – Реестра) в целях проведения блока однотипных экспертно-аналитических исследований или экспертиз (далее – ЭАИ).

Группа экспертов (или экспертная группа) формируется для проведения конкретного ЭАИ, либо из ранее отобранного пула экспертов, либо непосредственно из Реестра.

Научно-технический профиль ЭАИ – это количественная оценка соответствия объекта ЭАИ принятым научно-техническим классификаторам [7].

Задачу по формированию экспертных групп (пулов) для проведения конкретных ЭАИ можно сформулировать, как отыскание отношения [7]:

$$\exists L \subseteq \Lambda \times E: (L \mid U), \quad (1)$$

где  $E$  – множества экспертов, зарегистрированных в Реестре,  $\Lambda$  – множество проводимых ЭАИ,  $U$  – множество условий, которым должно удовлетворять искомое отношение  $L$ .

В широком смысле процедура, реализующая данное отношение, должна обеспечивать подготовку пула экспертов, которых планируется привлечь к проведению однотипных ЭАИ, имеющих, как правило, один шаблон (экспертную карту, анкету). Обычно это блок из нескольких экспертно-аналитических исследований, проводимых в рамках одного конкретного договора (задания, контракта). В узком же смысле эта процедура подразумевает отбор экспертов из имеющегося пула для проведения конкретного ЭАИ, например, для оценки того или иного проекта. Условимся, что, говоря ниже о формировании экспертного пула, будем понимать под этим решение задачи в широком смысле, а упоминая формирование группы – в узком.

В зависимости от располагаемого объема априорной информации об объекте ЭАИ, алгоритм решения рассматриваемой задачи может быть двух основных видов.

Если экспертный пул для проведения блока однотипных экспертно-аналитических исследований формируется в условиях отсутствия полной информации как об их общем количестве, так и о научно-техническом профиле [7] (далее – НТП) каждого конкретного ЭАИ, входящего в рассматриваемый блок, то имеется вариант решения задачи «сверху-вниз».

В этом случае сначала должен быть создан экспертный пул (причем с достаточной степенью избыточности в силу указанной неопределенности), а затем уже из этого пула сформированы экспертные группы для проведения конкретных ЭАИ.

Этот метод также применим, например, когда формируемый экспертный пул должен быть предварительно закреплён соответствующими нормативно-правовыми актами.

Если же количество и НТП экспертно-аналитических исследований известны заранее (либо достаточно четко определены временные рамки поступления заявок на проведение блока ЭАИ), то представляется целесообразным сразу подбирать экспертные группы для проведения конкретных ЭАИ. При этом формирование экспертного пула для блока ЭАИ превратится в чисто номинальную процедуру объединения уже имеющихся экспертных групп, а соответствующая задача будет решена «снизу-вверх».

С точки зрения перспектив автоматизации процесса формирования экспертных пулов вполне очевидно, что наиболее предпочтительным является второй вариант решения задачи (т.е. «снизу-вверх»), поскольку в данном случае имеется достаточный объем априорной информации. В связи с этим, далее основное внимание будет уделено именно этому методу.

### **Общие положения**

В целях обеспечения достоверности результатов ЭАИ при формировании как экспертных пулов, так и групп, должны быть соблюдены следующие основные принципы [10, 11]:

- научная специализация, области научных интересов, уровень квалификации и опыта отбираемых экспертов должны соответствовать тематике и уровню сложности (масштабности) ЭАИ, к выполнению которых их планируется привлечь (принцип соответствия);
- отбираемые эксперты не должны иметь личной заинтересованности в подготовленных ими результатах ЭАИ, рекомендациях и выводах (принцип отсутствия конфликта интересов);
- уровни профессиональной подготовки и компетенции, а также спектр представительности экспертов формируемого пула (группы) должны быть сбалансированы (принцип коллегальности).

Процедура отбора экспертов в экспертный пул (группу) может быть представлена в виде последовательности следующих операций:

- формирование поискового образа эксперта;
- поиск экспертов, удовлетворяющих поисковому образу;
- формирование списка экспертов пула (группы).

В качестве исходных данных для реализации перечисленных операций целесообразно принять совокупность значений нескольких групп параметров, описывающих:

- объект ЭАИ;
- требуемую научную специализацию область научных интересов, уровень квалификации и опыт отбираемых экспертов;
- отсутствие конфликта интересов, т.е. личной заинтересованности отобранных экспертов в результатах ЭАИ, к выполнению которых их планируется привлечь.

К параметрам, характеризующим объект ЭАИ, можно отнести:

- НТП проводимого ЭАИ (т.е. количественную оценку соответствия объекта исследований принятым научно-техническим классификаторам);
- уровень сложности объекта (масштабность проводимого ЭАИ).

К параметрам, характеризующим научную специализацию, область научных интересов, уровень квалификации и опыт отбираемых экспертов, относят, как правило:

- научную специализацию и область научных интересов в соответствии с принятыми классификаторами научно-технической информации;
- наличие научных трудов в данной области знания, ученой степени, ученого звания;
- стаж научной (педагогической и пр.) работы;
- показатели публикационной, патентной или грантовой активности;
- занимаемую должность, место работы (регион);
- количество и качество выполненных ЭАИ;
- текущая занятость в других ЭАИ.

Наконец к параметрам, позволяющим установить отсутствие конфликта интересов, можно отнести:

- историю (список мест) учебы, работы экспертов и занимаемых ими должностей;
- историю (список мест) учебы, работы и занимаемых должностей автора (коллектива), либо список организаций, предлагающих проведение ЭАИ или заинтересованных в его результатах.

### **Формирование поискового образа эксперта**

В информатике под поисковым образом обычно подразумевается текст, состоящий из лексических единиц информационно-поискового языка, выражающий содержание информационного запроса и предназначенный для реализации информационного поиска [12].



На основании этого определения понятие поискового образа эксперта (далее – ПОЭ) можно сформулировать, как поисковый образ, представляющий собой формализованный набор требований, предъявляемых к отбираемым экспертам, и содержащий идентификационные признаки и другие сведения об эксперте, необходимые для формирования поискового запроса и осуществления процедуры поиска [1].

В качестве основного компонента ПОЭ целесообразно использовать НТП исследования [7]:

$$Y_k = \|y_{1k} \cdots y_{jk} \cdots y_{Jk}\|^T, \quad (2)$$

где  $y_{jk} \in [0, 1]$  – интегральный параметр, учитывающий весовой коэффициент  $j$ -й отрасли знания в  $k$ -м исследовании, а также требуемый уровень компетентности эксперта в  $j$ -й отрасли знания, необходимый для качественного проведения  $k$ -го исследования;  $J$  – общее количество отраслей знания на низшем уровне иерархии используемой классификации.

Каждое отдельное проводимое ЭАИ также может затрагивать одновременно несколько групп отраслей знания, в том числе достаточно «отдаленных» и обособленных друг от друга в пространстве используемой классификации (далее – *обособленная область компетенции*, ООК). Как правило, такая ситуация может иметь место при выполнении сложных междисциплинарных ЭАИ, а также при экспертизе масштабных научно-технических проектов на предмет их целесообразности и реализуемости.

Исходя из самых общих соображений, можно предположить, что количество экспертов, необходимое для проведения ЭАИ, не должно быть меньше числа ООК, составляющих НТП исследования, поскольку найти одного, а уж тем более нескольких экспертов с компетенцией сложной структуры представляется достаточно проблематичным.

В связи с этим может возникнуть задача разделения конкретного сложного ЭАИ между несколькими экспертами в части, совпадающей с их специализацией. Тем не менее, не исключая вероятности (хотя и достаточно малой) существования подходящих многопрофильных экспертов, а также в интересах охвата полной группы несовместных событий, рассмотрим все варианты возможного разделения по компетенциям, которые могут возникнуть при формировании экспертных групп.

Количество обособленных областей компетенции в  $k$ -м исследовании можно определить следующим образом:

$$n_k = \sum_{j=1}^J \delta_{jk}, \quad \delta_{jk} = \begin{cases} 1, & y_{1k} > 0, \\ 1, & (y_{j-1k}=0) \wedge (y_{jk}>0) \wedge (j>1), \\ 0. & \end{cases} \quad (3)$$

Например, НТП исследования, показанный на рис. 1, содержит три обособленные области компетенции ( $n_k = 3$ ), каждая из которых представляет собой группу, состоящую из нескольких соседних отраслей знания в используемой классификации.

С помощью процедуры аналогичной (3) сформируем вектор-строку  $G_k$ :

$$G_k = \|g_{1k} \cdots g_{jk} \cdots g_{Jk}\|, \quad g_{jk} = \begin{cases} 1, & y_{1k} > 0 \\ j, & (y_{i-1k} = 0) \wedge (y_{jk} > 0) \wedge (j > 1), \\ 0. & \end{cases} \quad (4)$$

Отличные от нуля элементы  $J_{jk}$  равны индексам «передних фронтов» ООК (для примера на рис. 1 – это индексы  $J_1$ ,  $J_2$  и  $J_3$ ). Общее количество таких ненулевых элементов равно  $N_k$ .



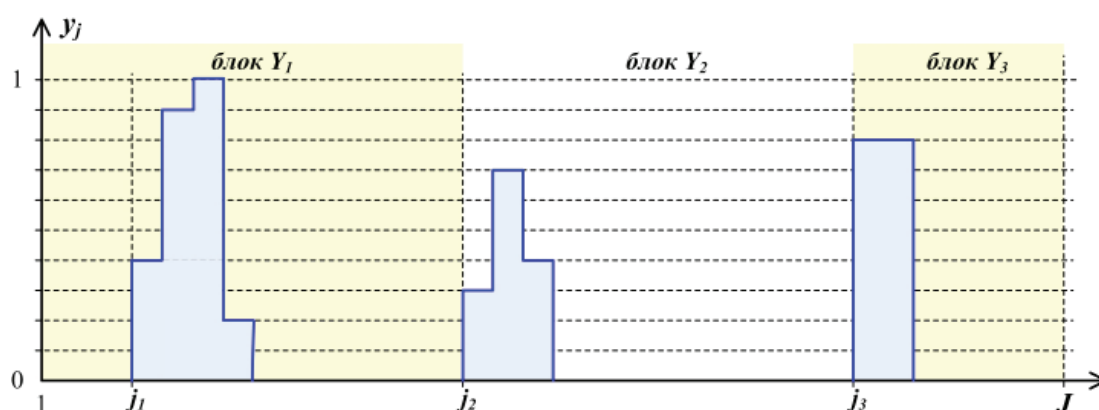


Рис. 1. Графическое представление обособленных областей компетенции

Транспонируем вектор-столбец  $Y_k$  и разобьем его на  $n_k$  блоков, используя в качестве границ значения  $g_{jk}$ :

$$Y_k^T = \left\| [y_{1k} \cdots y_{(j_2-1)k}] [y_{j_2k} \cdots y_{(j_3-1)k}] \cdots [y_{(j_{n_k})k} \cdots y_{Jk}] \right\| = \left\| Y_{1k} Y_{2k} \cdots Y_{n_k k} \right\|. \quad (5)$$

Зная  $n_k$ , можно вычислить количество всех возможных вариантов разбиения НТП исследования по обособленным областям компетенции (или, другими словами — вариантов распределения ЭАИ между экспертами по их специализации). В этих целях воспользуемся выражением производящей функции для сочетаний без повторений [6]:

$$F_*(x) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} x^i = \sum_{i=0}^n C_n^i x^i = (1+x)^n. \quad (6)$$

Приняв  $x = 1$  и подставив значение  $n_k$ , для  $k$ -го исследования получим:

$$F_k = \sum_{i=0}^{n_k} C_{n_k}^i = 2^{n_k}. \quad (7)$$

Поскольку выборка при  $i = 0$  в нашем случае не имеет смысла (так как планируемое число отбираемых экспертов априори не может равняться нулю), то выражение необходимо преобразовать с учетом данного ограничения:

$$F_k = \sum_{i=1}^{n_k} C_{n_k}^i = \left( \sum_{i=0}^{n_k} C_{n_k}^i \right) - C_{n_k}^0 = 2^{n_k} - 1. \quad (8)$$

Специфика задачи и особенности формул (7) и (8), позволяют представить возможные варианты сочетаний ООК в виде матрицы  $\Gamma_k$  размерностью  $(2^{n_k} - 1) \times n_k$ , строки которой представляют собой  $n_k$ -разрядные двоичные числа от 1 до  $(2^{n_k} - 1)$ , а количество единиц в строках — число ООК в сочетании —  $n_{(a)k}$ .

Умножим поэлементно каждую строку матрицы  $\Gamma_k$  на соответствующие блоки вектора-строки  $Y_k^T$ .

Поскольку количество столбцов  $\Gamma_k$  и число блоков  $Y_k^T$  одинаково и равно  $n_k$ , то в результате получим матрицу сочетаний ООК  $Y_k^*$  размерностью  $(2^{n_k} - 1) \times n_k$ :

$$Y_k^* = \|\|Y_{(a,b)k}^*\|, \quad (9)$$

$$\text{где } Y_{(a,b)k}^* = \Gamma_{(a,b)k} \times Y_{(b)k} = \Gamma_{(a,b)k} \times [y_{(j_b)k} \cdots y_{(j_{b+1}-1)k}] = \\ [\Gamma_{(a,b)k} \times y_{(j_b)k} \cdots \Gamma_{(a,b)k} \times y_{(j_{b+1}-1)k}], \quad a = \overline{1, 2^{n_k} - 1}, \quad b = \overline{1, n_k}.$$

При переходе от блочной формы, полученной в результате (9), к обычной размерность матрицы  $Y_k^*$  станет  $(2^{n_k} - 1) \times J$ .

В графическом виде матрица  $Y_k^*$  для рассматриваемого примера показана на рис. 2, из которого видно, что элементы матрицы  $\Gamma$  выступают в качестве своеобразных «триггеров», включающих или исключающих из процесса рассмотрения те или иные ООК.

#### Отбор экспертов, удовлетворяющих поисковому образу

Процедура отбора экспертов в группу для проведения  $k$ -го исследования заключается в последовательном сравнении фрагментов его НТП, содержащихся в строках матрицы  $Y_k^*$ , с векторами компетентности экспертов [7]:

$$X_i = \|x_{1k} \cdots x_{ji} \cdots x_{Ji}\|^T, \quad X_i \in X, \quad i = \overline{1, I}, \quad (10)$$

где  $X$  — матрица компетентности экспертов, зарегистрированных в Реестре,  $x_{ji} \in [0, 1]$  — интегральный параметр (коэффициент), характеризующий уровень компетентности  $i$ -го эксперта в  $j$ -й отрасли знания, то есть наличие квалификации и опыта, необходимых для качественного проведения ЭАИ.

Следует особо отметить, что для реализации сравнения НТП исследований и векторов компетенции экспертов необходимо наличие единой методики расчета значений интегральных параметров  $y_{jk}$  и  $x_{ji}$  на основании единых исходных данных. Разработка указанной методики представляет собой обособленную, достаточно сложную задачу и будет рассмотрена отдельно.

Одинаковая размерность  $(J \times 1)$ , а также единый подход в понимании и расчете значений элементов векторов  $Y_k$  и  $X_i$ , позволяет интерпретировать их как точки в общем  $J$ -мерном евклидовом пространстве.

Расстояние между двумя произвольными точками в таком пространстве обычно определяют по формуле Евклидова расстояния:

$$d(X_i, Y_k) = \sqrt{\sum_{j=1}^J (x_{ji} - y_{jk})^2}. \quad (11)$$

Таким образом, если принять определяемую  $Y_k$  точку за центр (точку отсчета), то расстояние  $d(X_i, Y_k)$  будет служить мерой удаленности  $X_i$  от этого центра или другими словами — соответствия компетентности  $i$ -го эксперта научно-техническому профилю  $k$ -го исследования. Задав границу (порог)  $r^*$ , определяющую предельно допустимую удаленность экспертов от центра, можно сформулировать решающее правило, реализующее классификацию на два класса и позволяющее отобрать требуемых экспертов [8]:

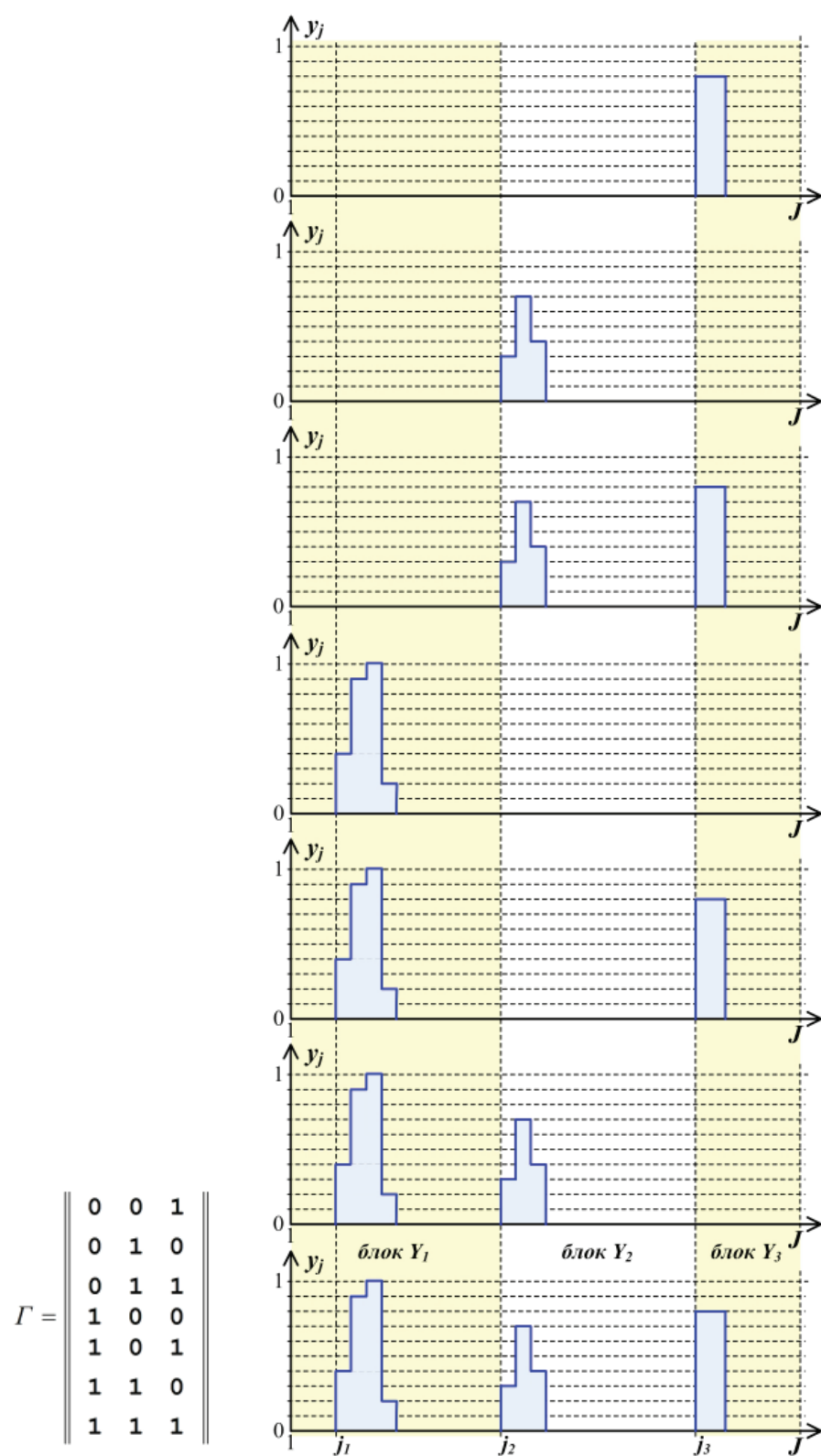


Рис. 2. Варианты возможных сочетаний обособленных областей компетенции ЭАИ со сложным НТП ( $n_k = 3$ )

$$t_i = \begin{cases} 1, & d(X_i, Y_k) \leq r^*, \\ 0, & d(X_i, Y_k) > r^*, \end{cases} \quad (12)$$

где  $t_i$  — метка класса, принимающая одно из двух возможных значений.

В геометрической интерпретации такой порог будет иметь вид гиперсферы в  $J$ -мерном пространстве с центром в точке  $Y_k$  и радиусом  $r^*$ , а предварительному отбору в состав экспертной группы будут подлежать эксперты, образы  $X_i$  которых находятся внутри этой гиперсферы.

Рассмотренный метод достаточно прост и практичен, однако в многомерных пространствах приводит к так называемой проблеме «проклятия размерности» (аналог закона больших чисел в теории вероятностей). При размерности пространства  $n \rightarrow \infty$ , расстояния во всех парах объектов становятся практически одинаковыми и следовательно — неинформативными, а сами объекты — слаборазличимыми, что существенно затрудняет решение задачи классификации [2].

В нашем случае размерность векторов  $X_i, Y_k$  определяется количеством  $J$  отраслей знания на низшем уровне иерархии используемой классификации, которое достаточно велико, что не позволяет напрямую применить метод классификации по евклидовому расстоянию для эффективного отбора экспертов.

Кроме этого, при использовании выражений (11)–(12) первичный отбор в группу смогут пройти эксперты, у которых значения признаков  $x_{ji}$  будут меньше соответствующих требуемых значений НТП исследования  $y_{jk}$ , что может быть неприемлемым в силу ограничений по процедуре проведения ЭАИ.

Ситуацию можно попробовать разрешить двумя способами.

В первом случае можно попытаться уменьшить размерность  $J$  векторов  $X_i, Y_k$  путем перехода на более высокий уровень иерархии используемой классификации, как это реализуется алгоритмом объединения (древовидной кластеризации) при кластерном анализе [5].

Однако такое решение автоматически приводит с одной стороны — к необходимости пересчета значений элементов этих векторов, а, следовательно, к усложнению методики расчета и реализующего ее алгоритма, а с другой — к снижению качества решения задачи по отбору экспертов из-за потерь априорной информации о проекте и отбираемых экспертах, что может быть неприемлемо с точки зрения требований по организации и проведению ЭАИ.

Второй вариант заключается в более тщательном выборе метрики в рассматриваемом пространстве объектов. По сути метрика представляет собой математическую модель сходства объектов. Ее выбор во многих случаях не однозначен и является серьезной задачей в задачах классификации. В большинстве метрических алгоритмов предполагается, что метрика фиксирована, однако в последнее время все чаще находят применение адаптивные методы, в которых метрика настраивается по обучающей выборке [2].

Остановимся на втором варианте. В нашем конкретном случае возможно применить метрику, используемую, как правило, для категориальных (качественных), а не количественных данных. Примером такой метрики может служить так называемый «процент несогласия» [5], при котором расстояние между двумя точками  $x$  и  $y$  вычисляется по формуле:

$$\text{Расстояние } (x, y) = (\text{Количество } (x_i \neq y_i)) / I, \quad i = \overline{1, I}.$$

Рассмотрим метрику на основе алгоритма, сопоставляющего вектор компетентности эксперта  $X_i$  с произвольной строкой  $Y_{(a)k}^*$  полученной ранее матрицы сочетаний ООК:

$$Y_k^* = \|Y_{(a)k}^*\|, a = \overline{1, 2^{n_k} - 1}, \text{ где } Y_{(a)k}^* = \|y_{(a)jk}^*\|, j = \overline{1, J}, \quad (13)$$

$$\text{где } Y_{(a)k}^* = \|y_{(a)jk}^*\|, j = \overline{1, J}.$$

Сопоставление будем осуществлять путем проверки выполнения комплекса условий для каждой пары значений  $(X_{ji}, Y_{(a)k}^*)$ .

Поясним эти условия на рассматриваемом примере с помощью рис. 3, на верхнем графике которого показана строка матрицы сочетаний ООК для  $a = 2$ , а на нижнем – два сопоставляемых с ней вектора компетенции произвольных экспертов  $X_1$  и  $X_2$ .

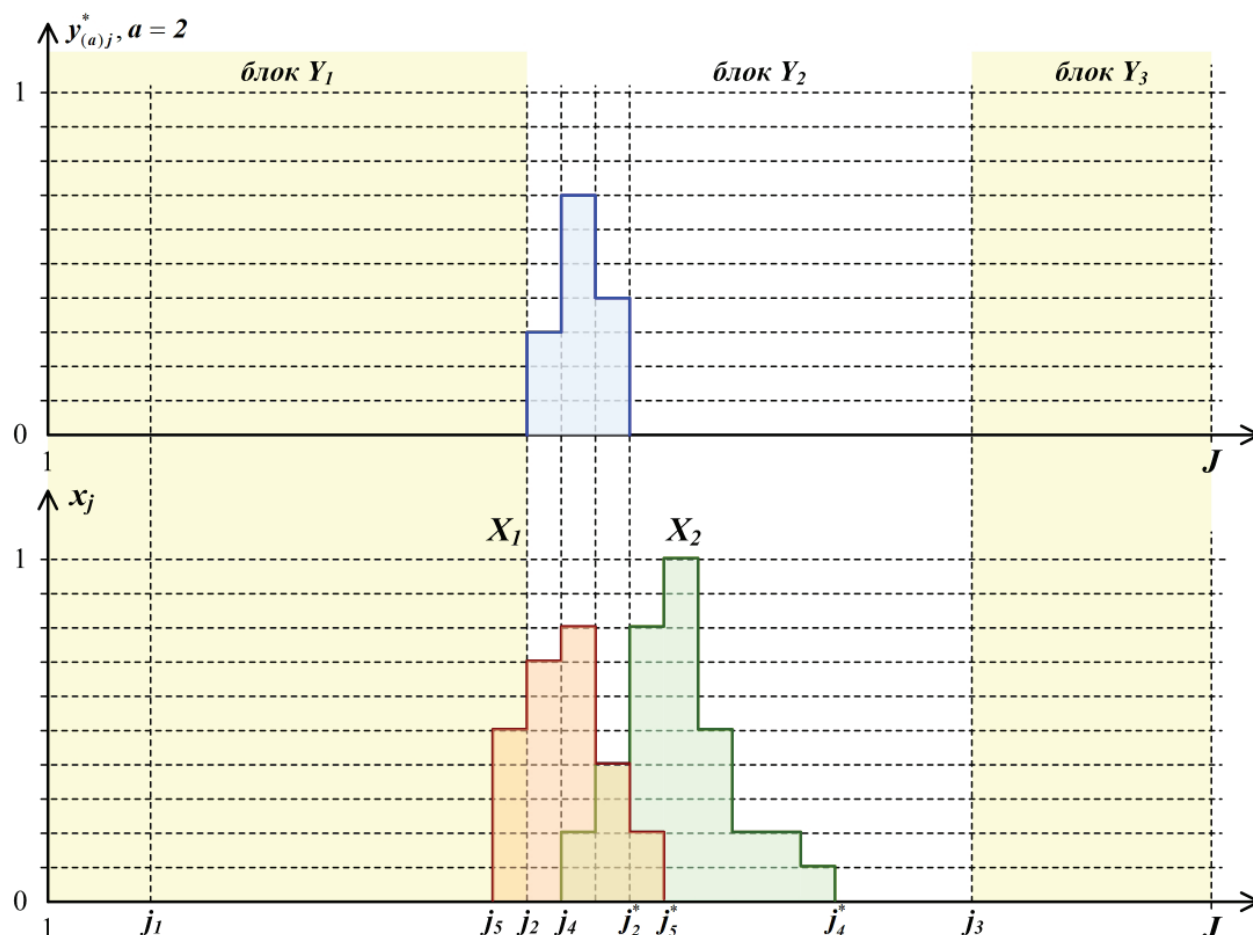


Рис. 3. Пример сопоставления фрагмента научно-технического профиля исследования и вектора компетенции эксперта

*Условие 1* связано с учетом только тех пар  $(x_{ji}, y_{(a)jk}^*)$ , для которых выполняется неравенство  $y_{(a)jk}^* > 0$ . Это представляется целесообразным, поскольку с формальной точки зрения при отборе экспертов должны учитываться только те их компетенции, которые имеют отношение к НТП конкретного ЭАИ. Таким образом, в рассматриваемом примере в сопоставлении будут участвовать лишь элементы векторов  $X_1$  и  $X_2$ , находящиеся в интервале  $[j_2, j_2^*]$  (рис. 3).

*Условие 2* исключает из рассмотрения экспертов, для которых в пределах анализируемой ООК (т.е. при  $y_{(a)jk}^* > 0$ ) не выполняется неравенство  $x_{ji} > 0$ , т.е. вектор компетентности эксперта не перекрывает ООК полностью. В нашем примере (рис. 3) будет отклонена кандидатура эксперта  $X_2$ , так как на интервале  $[j_2, j_4^*]$  у него отсутствует требуемая компетенция ( $x_{ji} = 0$ ).

Условие 3 проверяется для экспертов, удовлетворяющих условиям 1–2, и позволяет непосредственно отобрать экспертов, чей уровень компетентности соответствует требованиям, заложенным в НТП ЭАИ. Оно может быть реализовано посредством следующих вариантов решающих правил.

Решающее правило 1 самое простое и подразумевает отбор экспертов, уровень компетентности которых не хуже требований, установленных профилем исследования:

$$t_{(a)ijk} = \begin{cases} 1, & (x_{ji} \geq y_{(a)jk}^*), \\ 0, & (x_{ji} < y_{(a)jk}^*). \end{cases} \quad (14)$$

При его применении отбор пройдет эксперт  $X_1$  (рис. 3).

Решающее правило 2 содержит переменную порога  $r_k^*$ , который не может быть превышен при отборе эксперта:

$$t_{(a)ijk} = \begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* + r_k^* \geq x_{ji} \geq y_{(a)jk}^*), \\ 0, & (x_{ji} < y_{(a)jk}^*) \vee (x_{ji} > y_{(a)jk}^* + r_k^*). \end{cases} \quad (15)$$

В этом случае уровень компетентности отбираемого эксперта должен с одной стороны отвечать требованиям, заданным НТП исследования, а с другой — не превышать установленного порога. Для нашего примера (рис. 3) эксперт  $X_1$  пройдет отбор только при условии, что значение порога  $r_k^*$ , будет не менее 0,4.

Решающее правило 3 является расширением выражения (15) для случая, когда допустимый уровень компетентности отбираемых экспертов устанавливается в виде диапазона  $[-r_k^*, r_k^*]$  относительно заданных требований:

$$t_{(a)ijk} = \begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* + r_k^* \geq x_{ji} \geq y_{(a)jk}^* - r_k^*), \\ 0, & (x_{ji} < y_{(a)jk}^* - r_k^*) \vee (x_{ji} > y_{(a)jk}^* + r_k^*). \end{cases} \quad (16)$$

Этот вариант может понадобиться, если число экспертов, отобранных в соответствии с решающим правилом (15), недостаточно и в рассмотрение необходимо включить экспертов, уровень компетентности которых незначительно меньше установленных требованиями.

Решающее правило 4 является вариантом выражения (15) в случае, когда порог  $r_{jk}^*$  задается индивидуально для каждой  $j$ -й области знания, входящей в рассматриваемую ООК:

$$t_{(a)ijk} = \begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* + r_{jk}^* \geq x_{ji} \geq y_{(a)jk}^*), \\ 0, & (x_{ji} < y_{(a)jk}^*) \vee (x_{ji} > y_{(a)jk}^* + r_{jk}^*). \end{cases} \quad (17)$$

Решающее правило 5 в свою очередь, является расширением выражения (17) при задании допустимого уровня компетентности экспертов в виде диапазона  $[-r_{jk}^*, r_{jk}^*]$  относительно заданных требований индивидуально для каждой  $j$ -й области знания, входящей в рассматриваемую ООК:

$$t_{(a)ijk} = \begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* + r_{jk}^* \geq x_{ji} \geq y_{(a)jk}^* - r_{jk}^*), \\ 0, & (x_{ji} < y_{(a)jk}^* - r_{jk}^*) \vee (x_{ji} > y_{(a)jk}^* + r_{jk}^*). \end{cases} \quad (18)$$



Количество  $j$ -х отраслей знания, для которых выполняется рассматриваемый комплекс условий (на примере решающего правила 4) можно определить следующим образом:

$$m_{(a)ik}^* = \sum_{j=1}^J t_{(a)ijk}^*, \quad (19)$$

$$\text{где } t_{(a)ijk}^* = \begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* > 0) \wedge (x_{ji} > 0) \wedge (y_{(a)jk}^* + r_{jk}^* \geq x_{ji} \geq y_{(a)jk}^*), \\ 0, & \end{cases}$$

При этом, суммарное количество отраслей знания, составляющих ООК, в строке  $y_{(a)k}^*$ , рассчитывается как

$$m_{(a)k} = \sum_{j=1}^J t_{(a)jk}, \quad (20)$$

$$\text{где } t_{(a)jk} = \begin{cases} 1, & (y_{(a)jk}^* > 0), \\ 0, & \end{cases}$$

Знание величин  $m_{(a)jk}^*$  и  $m_{(a)k}^*$  позволяет сформулировать решающее правило отбора эксперта в группу.

Основанием для предварительного отбора эксперта в группу является одновременное выполнение условий *III* для всех отраслей знания на всем интервале в пределах анализируемой ООК, что подразумевает в конечном итоге равенство значений  $m_{(a)jk}^*$  и  $m_{(a)k}^*$ .

$$t_{(a)ik} = \begin{cases} 1, & (m_{(a)ik}^* = m_{(a)k}), \\ 0, & (m_{(a)ik}^* < m_{(a)k}). \end{cases} \quad (21)$$

Расстояние в этом случае как таковое не рассчитывается, а принимает только два значения, эквивалентные  $t_{(a)jk}$ .

Следует отметить, что уровень компетентности экспертов, прошедших предварительный отбор в группу, в дальнейших рассуждениях учитываться не будет, т.е. с этой точки зрения они признаются «неразличимыми».

#### Формирование экспертных групп

В результате последовательного выполнения процедур, определяемых выражениями (14)–(21), со всеми строками матрицы  $Y_k^*$  для произвольного  $k$ -го исследования получим набор подмножеств

$$X_{(a)k}^* \subset E, a = \overline{1, 2^{n_k} - 1}. \quad (22)$$

Каждое из этих подмножеств представляет собой совокупность экспертов  $\varepsilon$ , прошедших первичный отбор и удовлетворяющих установленным требованиям по строке  $Y_{(a)k}^*$  матрицы сочетаний ООК:

$$X_{(a)k}^* = \{\varepsilon\}_{(a)k}, \varepsilon \in E, a = \overline{1, 2^{n_k} - 1}. \quad (23)$$

Исходя из самых общих предположений, подмножества  $X_{(a)k}^*$  могут пересекаться, т.е. содержать одни и те же элементы, поскольку в силу своей компетенции некоторые эксперты могут быть отобраны по нескольким различным ООК одного исследования. Таким образом, вполне очевидно, что общий список предварительно отобранных экспертов может быть избыточен и требует минимизации.

Прежде всего следует помнить, что минимизированный список экспертов должен обеспечивать полное «покрытие» всех ООК НТП исследования при формировании экспертных групп. Следовательно, так как подмножества экспертов  $X_{(a)k}^*$  формируются на основе соответствующих строк  $\Gamma_{(a)k}$  матрицы  $\Gamma_k$ , то требуется подобрать такие сочетания строк  $\Gamma_{(a)k}$ , чтобы их побитовая логическая сумма образовывала бы строку, все элементы которой равны единице.

Для этого преобразуем матрицу  $\Gamma_k$  к виду  $\Gamma_k = \|\Gamma_1^T \dots \Gamma_a^T \dots \Gamma_{2^{n_k}-1}^T\|^T$ , т.е. представим ее как вектор-столбец, каждый элемент которого является соответствующей строкой исходной матрицы  $\Gamma_k$ .

Поскольку с одной стороны порядок строк в кортеже не имеет значения (неупорядоченная выборка), а с другой – сами строки в кортеже могут повторяться (что в перспективе потенциально позволит сократить количество экспертов, отбираемых в группу), то множество всех возможных вариантов сочетаний элементов вектора-столбца  $C(\Gamma_k)$  можно сгенерировать на основе комбинаторных сочетаний с повторениями.

Общее количество таких сочетаний равняется мощности результирующего множества и может быть рассчитано по формуле сочетаний с повторениями

$$|C(\Gamma_k)| = \overline{C}_{2^{n_k}-1}^{n_k} = C_{2^{n_k}-1+n_k-1}^{n_k} = \frac{(2^{n_k} - 1 + n_k - 1)!}{n_k! (2^{n_k} - 1)!}. \quad (24)$$

Теперь из множества  $C(\Gamma_k)$  необходимо выделить подмножество  $\Gamma_k^{(1)}$ , состоящее из однотипных кортежей  $(\Gamma_{a_1} \dots \Gamma_{a_i} \dots \Gamma_{a_{n_k}})$ , побитовая логическая сумма которых дает в результате строку, содержащую единицы во всех позициях. Для этого зададим на множестве  $C(\Gamma_k)$  отношение.

В математике подмножество декартового произведения  $n$  множеств называется отношением степени  $n$  ( $n$ -арным отношением) на этих множествах [9]. Отношение включает не все возможные кортежи из декартового произведения, а лишь соответствующие заданному критерию, определяющему его семантику (смысл).

Т.е. каждому отношению можно поставить в соответствие некоторое логическое выражение (предикат отношения) определяющее, будет ли произвольный кортеж принадлежать этому отношению. В более точной формулировке кортеж принадлежит отношению тогда и только тогда, когда предикат этого отношения принимает значение «истина». Предикат, в свою очередь, принимает значение «истина» (или «1») при выполнении определяющего его условия, и значение «ложь» (или «0») – в противном случае.

Предикат, определяющий необходимое нам отношение, имеет вид:

$$P_1(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) = \{(x_1 | \dots | x_i | \dots | x_n) = (\delta_1, \dots, \delta_i, \dots, \delta_n)\}, \quad (25)$$

где  $\forall (i = \overline{1, n}): \delta_i = 1$ .

Его *множеством истинности* на множестве  $C(\Gamma_k)$  будет являться искомое подмножество удовлетворяющих заданному условию кортежей:

$$\Gamma_k^{(1)} = P_1^+ \{C(\Gamma_k)\} = \left\{ \exists (\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}}) \in C(\Gamma_k): (P_1(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}}) = 1) \right\}, \quad (26)$$

где  $a_i = \overline{(1, 2^{n_k}-1)}$ .

Выражение (26) является необходимым, но не достаточным условием. В случае, когда хотя бы одно из соответствующих элементов кортежа подмножеств не содержит ни одного эксперта (т.е.  $X_{(a)k}^* = \emptyset$ ), кортеж из рассмотрения должен быть исключен, поскольку не обеспечивает полное перекрытие ООК НТП исследования.

Соответствующим этому условию предикатом будет

$$P_2(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}}) = \left\{ \left( \bigwedge_{i=1}^{n_k} (X_{(a_i)k}^* \neq \emptyset) \right) = 1 \right\}, \quad (27)$$

где  $a_i = \overline{1, 2^{n_k} - 1}$ ,

а его множеством истинности на уже известном подмножестве  $\Gamma_k^{(1)}$  —

$$\Gamma_k^{(2)} = P_2^+ \{ \Gamma_k^{(1)} \} = \left\{ \exists (\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}}) \in \Gamma_k^{(1)} : (P_2(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}}) = 1) \right\}, \quad (28)$$

где  $a_i = \overline{1, 2^{n_k} - 1}$ .

Оставшиеся кортежи необходимо ранжировать в соответствии с суммарным количеством ООК, содержащихся в каждой строке, входящей в состав произвольного кортежа

$$R(\Gamma_{a_1}, \dots, \Gamma_{a_i}, \dots, \Gamma_{a_{n_k}}) = \sum_{i=1}^{n_k} n_{(a_i)k}. \quad (29)$$

Кортежи, обладающие бóльшим значением  $R$  (далее — рейтинг), потенциально будут обеспечивать проведение ЭАИ меньшим количеством экспертов (за счет перекрытия одним экспертом нескольких ООК) и наоборот. Значения рейтинга целочисленные и заключены в диапазоне  $[n_k, (n_k)^2]$ .

Подбирая кортежи в соответствии с рейтингом, необходимо принять во внимание требуемое количество экспертов, обычно устанавливаемое заданием на проведение блока (группы) однотипных ЭАИ в зависимости от уровня сложности объекта исследования или масштабы проводимого ЭАИ. Это количество может быть задано двумя способами: либо абсолютной величиной (диапазоном величин) — общим количеством экспертов для одного ЭАИ, либо относительной — в виде кратности экспертов, т.е. их числа для каждой ООК ЭАИ.

Кроме этого, представляется целесообразным сохранить некоторую минимально допустимую избыточность списка, если в силу каких-либо причин окончательно отобранные в список эксперты не смогут принять участие в проведении предлагаемого им ЭАИ.

С точки зрения организации проведения ЭАИ основной задачей рассмотренных этапов процедуры формирования экспертных групп являлось обеспечение принципов соответствия (в полной мере) и коллегиальности (в части, касающейся сбалансированности уровней профессиональной подготовки и компетенции экспертов).

Дальнейшая процедура формирования экспертных групп состоит в подстановке на позиции элементов выбранного кортежа ( $\Gamma_{a_1} \dots \Gamma_{a_i} \dots \Gamma_{a_{n_k}}$ ) конкретных экспертов из соответствующих подмножеств  $X_{(a)k}^*$ .

В организационном плане этот этап процедуры должен в полной мере обеспечить выполнение принципа отсутствия конфликта интересов с одной стороны, а с другой — принципа

коллегиальности в части разнообразия представительства экспертов в группе (т.е. их принадлежности к различным научным организациям, вузам, НИИ, научным школам и т.п.). Вопросы, связанные с методикой отбора экспертов в соответствии с указанными принципами, должны стать предметом отдельного исследования и выходят за рамки данной статьи.

Таким образом, в результате выполнения перечисленных процедур получаем одну или несколько экспертных групп, каждая из которых представляет собой сбалансированный список потенциальных экспертов, отвечающих параметрам заданного поискового образа, распределенных по соответствующим ООК НТП исследования и не заинтересованных по формальным признакам в его результатах.

### Управление процедурой формирования экспертных групп

В случае чрезмерной избыточности или наоборот, недостаточной укомплектованности экспертной группы процедура формирования должна быть выполнена повторно, но при других значениях параметров реализующего ее алгоритма. Эти параметры и являются инструментами, с помощью которых возможно осуществить управление рассматриваемой процедурой.

Вектор параметров алгоритма формирования экспертных групп  $P_L$  в самом общем можно представить следующим образом:

$$P_L = \|P_{\text{ФПО}} \ P_{\text{ПЭ}} \ P_{\text{ФСЭ}}\|^T, \quad (30)$$

где  $P_{\text{ФПО}}$  – параметры алгоритма формирования поискового образа эксперта;

$P_{\text{ПЭ}}$  – параметры алгоритма поиска экспертов, удовлетворяющих ПОЭ;

$P_{\text{ФСЭ}}$  – параметры алгоритма формирования списка экспертов.

К параметрам алгоритма формирования ПОЭ можно отнести количественный и качественный состав строк матрицы  $\Gamma_k$ , используемых для генерации кортежей.

Так, например, в целях упрощения процедуры отбор экспертов можно последовательно осуществлять отдельно для каждой из ООК НТП исследования. Применительно к матрице  $\Gamma_k$ , это означает рассмотрение только одного кортежа, состоящего из строк, представляющих собой единичные векторы, для которых  $n_{(a)k} = 1$ . Рейтинг такого кортежа будет минимален и равен  $n_k$ .

Также возможно использовать, например, только последнюю строку матрицы  $\Gamma_k$ , поскольку все ее элементы уже изначально равны единице, то все эксперты, вошедшие в соответствующее подмножество  $X_{(2^{nk}-1)k}^*$ , будут компетентны во всех ООК одновременно.

В принципе, подмножество  $X_{(2^{nk}-1)k}^*$  как раз и можно было бы рассматривать в качестве искомого минимизированного списка экспертов, однако подобрать одного, а тем более нескольких таких экспертов весьма проблематично, и, следовательно, велика вероятность того, что это подмножество окажется пустым, т.е.  $X_{(2^{nk}-1)k}^* = \emptyset$ , и необходимо проанализировать другие варианты.

Параметрами алгоритма поиска экспертов, удовлетворяющих ПОЭ, можно считать способ задания метрики, размеры задаваемых порогов, а также формат используемых решающих правил.

Наконец, в качестве параметров алгоритма формирования списка экспертов целесообразно использовать допустимые пороги аффилиции эксперта и проводимого им ЭАИ и/или взаимной аффилиции экспертов внутри группы.

Вопросы, связанные с оптимизацией значений параметров алгоритма формирования экспертных групп, являются предметом отдельного исследования и выходят за рамки данной статьи.

### Заключение

Рассмотренная методика формирования экспертных групп является достаточно обобщенной, и при организации и проведении конкретных экспертно-аналитических исследований в силу их специфики могут быть использованы и другие подходы.

Однако, наличие возможности управления процедурой формирования экспертных групп (пулов) за счет изменения параметров реализующего ее алгоритма дает неоспоримые преимущества с точки зрения перспектив создания функционала автоматической динамической адаптации указанного алгоритма под конкретное ЭАИ в интересах обеспечения высокой достоверности его результатов.

*Статья подготовлена в рамках научно-исследовательской работы, выполняемой ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по заданию № 2.10.2016/НМ Министерства образования и науки России на выполнение работ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.*

### **Список литературы**

1. Белоусов В.Л., Дивуева Н.А. Формирование модели механизма организации экспертной деятельности в сфере науки // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2013, № 8, с. 43. Available at: [http://uecs.ru/index.php?option=com\\_flexicontent&view=items&id=2318:2013-08-31-06-29-37](http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=2318:2013-08-31-06-29-37) (дата обращения: 12.05.2016).
2. Воронцов К.В. Лекции по метрическим алгоритмам классификации // Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН [Офиц. сайт]. Available at: <http://www.ccas.ru/voron/download/MetricAlgs.pdf> (дата обращения: 16.06.2016).
3. Дюйзен Е.Ю. Комплексный анализ ситуаций при принятии руководителем качественных управленческих решений // Лидерство и менеджмент, № 2(1), 2015. С. 19–34.
4. Еременко В.Т., Сазонов М.А., Фомин С.И., Петров В.А. Моделирование процесса формирования экспертной группы по заданной тематике // Информационные системы и технологии. № 3 (71). Орел: Госуниверситет УНПК, 2012. С. 23–30.
5. Кластерный анализ. Электронный учебник по статистике // StatSoft Russia [Офиц. сайт]. Available at: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stcluan.html#d> (дата обращения: 16.06.2016).
6. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. 4-е. М.: «Наука», 1978. С. 569.
7. Мельник П.Б. Математическая постановка задачи формирования реестра экспертов // Инноватика и экспертиза. Научные труды ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. № 2 (13), 2014. С. 69–81.
8. Метод опорных векторов для стандартной задачи классификации. Available at: [http://www.machinelearning.ru/wiki/images/2/25/SMAIS11\\_SVM.pdf](http://www.machinelearning.ru/wiki/images/2/25/SMAIS11_SVM.pdf) (дата обращения: 20.05.2016).
9. Множества и отношения. Лекция. Новгородский государственный университет [Офиц. сайт] // Available at: <http://www.novsu.ru/file/672233> (дата обращения: 24.06.2016).
10. Научно-техническая экспертиза. Стандарты организации. Подбор экспертов. СТО 11313707-03.005-2006. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ [Офиц. сайт]. Available at: [http://www.extech.ru/activity/expertise/sto/03\\_005.pdf](http://www.extech.ru/activity/expertise/sto/03_005.pdf) (дата обращения: 05.07.2016).
11. Положение о Федеральном реестре экспертов научно-технической сферы (проект). ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ [Офиц. сайт]. Available at: URL: <https://reestr.extech.ru/docs/polojhenie.php> (дата обращения: 05.07.2016).
12. Словари [Электронный ресурс] // Группа «ФИНАМ» [Офиц. сайт]. Available at: <http://www.finam.ru/dictionary/wordf0048000013/?page=1> (дата обращения: 05.05.2016).
13. Gubanov D., Korgin N., Novikov D., Raikov A. E-Expertise: Modern Collective Intelligence. Switzerland: Springer, 2014. 112 p.
14. Neshati M., Beigy H., Hiemstra D. (2014). Expert group formation using facility location analysis. Information Processing & Management, 50(2), pp. 361–383. Doi: 10.1016/j.ipm.2013.10.001.
15. Neshati M., Beigy H., Hiemstra D. (2012). Multi-aspect group formation using facility location analysis. In Proceedings of the seventeenth Australasian Document Computing Symposium, ADCS '12, pp. 62–71. New York, NY, USA: ACM (ISBN 978-1-4503-1411-4).
16. Yue Z. (2012). Approach to group decision making based on determining the weights of experts by using projection method. Applied Mathematical Modelling, 36(7), 2900–2910. Doi: 10.1016/j.apm.2011.09.068.



## References

1. Belousov V.L., Divueva N.A. (2013) *Formirovanie modeli mekhanizma organizatsii ekspertnoy deyatel'nosti v sfere nauki* [Formation of the model of the mechanism of organization of expert activity in the sphere of science] *Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Management of economic systems: electronic scientific journal], No. 8, p. 43. Available at: [http://uecs.ru/index.php?option=com\\_flexicontent&view=items&id=2318:2013-08-31-06-29-37](http://uecs.ru/index.php?option=com_flexicontent&view=items&id=2318:2013-08-31-06-29-37) (reference date: 05.12.2016).
2. Vorontsov K.V. (2016) *Lektsii po metriceskim algoritmam klassifikatsii* [Lectures on the metric classification algorithms] *Vychislitel'nyy tsentr im. A.A. Dorodnitsyna RAN Federal'nogo issledovatel'skogo tsentra «Informatika i upravlenie» RAN (Ofits. sayt)* [Dorodnitsyn Computing Centre of the Russian Academy of Sciences of the Federal Research Centre «Informatics and Management» RAS (Off. Site)]. Available at: <http://www.ccas.ru/voron/download/MetricAlgs.pdf> (date of circulation: June 16, 2016).
3. Dyuzen E.Y. (2015) *Kompleksnyy analiz situatsiy pri prinyatii rukovoditelem kachestvennykh upravlencheskikh resheniy* [Complex analysis of situations when the manager makes qualitative managerial decisions] *Liderstvo i menedzhment* [Leadership and Management], No. 2 (1), pp. 19–34.
4. Eremenko V.T., Sazonov M.A., Fomin S.I., Petrov V.A. (2012) *Modelirovanie protsessa formirovaniya ekspertnoy gruppy po zadannoy tematike* [Modelling the process of forming an expert group on a given topic] *Informatsionnye sistemy i tekhnologi Gosuniversitet UNPK* [Information systems and technologies], Orel State University ESPC. No. 3(71), pp. 23–30.
5. *Klasternyy analiz. Elektronnyy uchebnik po statistike* [Cluster analysis. Electronic textbook on statistics]. *StatSoft Russia* [StatSoft Russia (Off. Site)]. Available at: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stcluan.html#d> (scientific date: June 16, 2016).
6. Korn G.A., Korn T.M. (1978) *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [A handbook on mathematics for scientists and engineers] *Nauka* [Science, 4th. ed.], Moscow, p. 69.
7. Melnik P.B. (2014) *Matematicheskaya postanovka zadachi formirovaniya reestra ekspertov* [Mathematical formulation of the task of forming the roster of experts] *Innovatika i ekspertiza. Nauchnye trudy FGBNU NII RINKTsE* [Innovatics and expert examination. Scientific works of SRI FRCEC]. Moscow. No. 2(13), pp. 69–81.
8. *Metod opornykh vektorov dlya standartnoy zadachi klassifikatsii* [Support vector method for the standard classification problem]. Available at: [http://www.machinelearning.ru/wiki/images/2/25/SMAIS11\\_SVM.pdf](http://www.machinelearning.ru/wiki/images/2/25/SMAIS11_SVM.pdf) (reference date: 05/20/2016).
9. *Mnozhestva i otnosheniya. Lektsiya* [Sets and relations. Lecture] *Novgorodskiy gosudarstvennyy universitet (Ofits. sayt)* [Novgorod State University (Off. Site)]. Available at: <http://www.novsu.ru/file/672233> (reference date: June 24, 2016).
10. *Nauchno-tekhnicheskaya ekspertiza. Standarty organizatsii. Podbor ekspertov*. STO 11313707-03.005-2006. [Scientific and technical expertise. Standards of the organization. Selection of experts. Standard of the Organization 11313707-03.005-2006] *FGBNU NII RINKTsE (Ofits. sayt)* [SRI FRCEC (Off. Site)]. Available at: [http://www.extech.ru/activity/expertise/sto/03\\_005.pdf](http://www.extech.ru/activity/expertise/sto/03_005.pdf) (reference date: 05.07.2016).
11. *Polozhenie o Federal'nom reestre ekspertov nauchno-tekhnicheskoy sfery (proekt)* [Regulations on the Federal Register of Experts in the Scientific and Technical Sphere (draft)] *FGBNU NII RINKTsE (Ofits. sayt)* [SRI FRCEC (Off. Site)]. Available at: <https://reestr.extech.ru/docs/polojhenie.php> (reference date: 05.07.2016).
12. *Slovari (Elektronnyy resurs)* [Dictionaries (Electronic resource)] *Gruppa FINAM (ofits. sayt)* [FINAM Group (Off. site)]. Available at: <http://www.finam.ru/dictionary/wordf0048000013/?page=1> (reference date: 05/05/2016).
13. Gubanov D., Korgin N., Novikov D., Raikov A. (2014) *E-Expertise: Modern Collective Intelligence*. Switzerland: Springer, 112 p.
14. Neshati M., Beigy H., Hiemstra D. (2014) Expert group formation using facility location analysis. *Information Processing & Management*, 50(2), pp. 361–383. Doi: 10.1016/j.ipm.2013.10.001.
15. Neshati M., Beigy H., Hiemstra D. (2012) Multi-aspect group formation using facility location analysis. In *Proceedings of the seventeenth Australasian Document Computing Symposium, ADCS '12*, pp. 62–71. New York, NY, USA: ACM (ISBN 978-1-4503-1411-4).
16. Yue Z. (2012) Approach to group decision making based on determining the weights of experts by using projection method. *Applied Mathematical Modelling*, 36(7), 2900–2910. Doi: 10.1016/j.apm.2011.09.068.



## ФЕДЕРАЛЬНЫЙ РЕЕСТР ЭКСПЕРТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЫ, КАК ИНСТРУМЕНТ ЭКСПЕРТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ МИНОБРНАУКИ РОССИИ: СОСТОЯНИЕ И ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ

*Н.А. Дивуева*, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *tus@extech.ru*

*В статье представлен обзор основных показателей, характеризующих состояние и динамику развития Федерального реестра экспертов научно-технической сферы ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ.*

**Ключевые слова:** федеральный реестр экспертов научно-технической сферы, область знаний, экспертное сообщество, аттестация, государственная политика в научно-технической сфере, экспертно-аналитические исследования, приоритетные направления исследований и разработок.

## FEDERAL ROSTER OF EXPERTS OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL SPHERE AS A TOOL OF THE EXPERT-ANALYTICAL SUPPORT OF THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION: THE STATE AND DYNAMICS OF DEVELOPMENT

*N.A. Divueva*, Chief of Department, SRI FRCEC, *tus@extech.ru*

*The article presents an overview of the main indicators characterizing the state and dynamics of development of Federal roster of experts of scientific and technical sphere SRI FRCEC.*

**Keywords:** Federal Roster of Experts of scientific and technical sphere, area of expertise, expert community, certification, state policy of scientific and technical sphere, innovation, expert-analytical researches, the priorities for research and development.

Возрастание роли экспертно-аналитического обеспечения функций Минобрнауки России по выработке государственной политики в научно-технической сфере и развитию сектора исследований и разработок научно-технологического комплекса Российской Федерации определяет необходимость дальнейшего развития и наращивания положительного опыта формирования и привлечения экспертного сообщества научно-технической сферы в режиме удаленного доступа к проведению экспертно-аналитических исследований по вопросам управления и финансирования развития науки и технологий, актуальность проведения исследований, разработки и совершенствования организационно-методического обеспечения интерактивной информационной системы ФРЭ (ИС ФРЭ) [1, 2]. Поэтому в рамках государственного задания Минобрнауки России Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Научно-исследовательский институт – Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы» ведется работа по организационно-методическому и информационному обеспечению Федерального реестра экспертов научно-технической сферы (ФРЭ). В данной статье проанализирован пятилетний опыт работы по формированию ФРЭ, начиная с 2012 г.

Согласно Положению о Федеральном реестре экспертов научно-технической сферы (Положение) к выполнению экспертно-аналитических исследований могут привлекаться только прошедшие процедуру аккредитации в ФРЭ эксперты [3, 4]. С целью обеспечения необходимого представительства высококвалифицированных специалистов в различных об-

ластях науки, технологий и техники в системе ФРЭ не предусмотрены ограничения на количество сроков аккредитации экспертов. При этом в соответствии с Положением [3] срок действия полномочий и аккредитации эксперта в ФРЭ ограничен и составляет не более 3-х лет с момента утверждения. Допускается продление полномочий эксперта на следующий срок по результатам прохождения процедуры переаккредитации.

Решение о переаккредитации или исключении эксперта из ФРЭ принимается аттестационной комиссией по результатам анализа его экспертной и научной деятельности за период аккредитации. Так, в 2016 году в ФРЭ было переаккредитовано 865 экспертов из 907. Необходимо отметить, что решение об исключении экспертов по основаниям, предусмотренным Положением, принято в небольшом количестве случаев – произошло отсеивание порядка 5% экспертов. Небольшой процент исключения экспертов говорит о качестве первоначального отбора экспертов научно-технической сферы на этапе формирования ФРЭ, их активном участии в экспертно-аналитической деятельности и небольшом сроке функционирования ФРЭ.

Анализ статистических данных, сформированных с использованием инструментальных средств ИС ФРЭ, позволяет сформулировать ряд выводов о динамике развития ФРЭ.

Наблюдается устойчивая динамика роста численного состава ФРЭ, как в части зарегистрировавшихся экспертов, так и количества аккредитованных специалистов. Количественный рост ФРЭ приведен на рис. 1.

Несмотря на то, что при переаккредитации происходит определенный отсев экспертов, процент прироста численного состава ФРЭ в целом резко не изменяется.

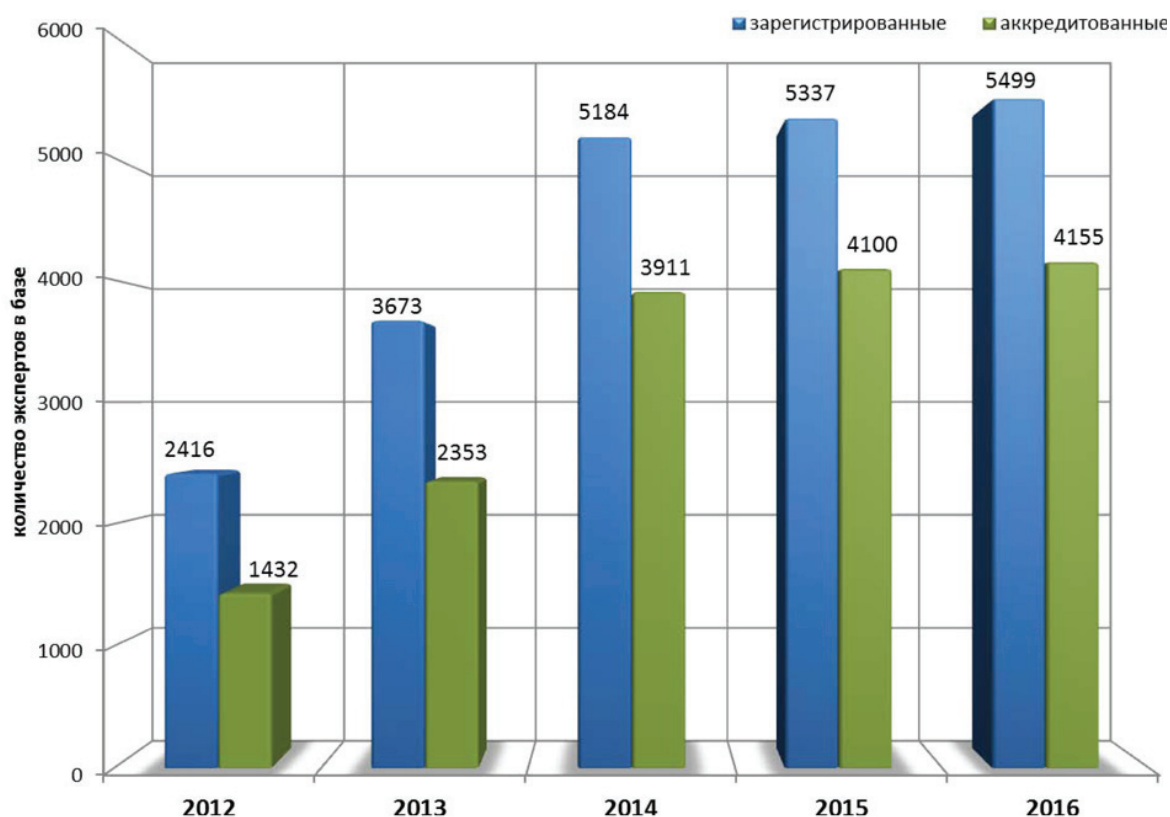


Рис. 1. Сравнительные данные по количеству зарегистрированных и аккредитованных экспертов в 2012–2016 годах

Анализируя приведенную статистику можно отметить, что наблюдается приток новых специалистов. Общее количество специалистов, первично или повторно получивших статус аккредитованного эксперта в ФРЭ, увеличилось. Прирост в 2016 г. составил около 2% по сравнению с 2015 годом.

Одной из основных задач, решаемых ФРЭ, является обеспечение представительства экспертов для проведения экспертно-аналитических исследований во всех приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники. Распределение экспертов по основным направлениям экспертной деятельности по состоянию на конец 2016 г. приведено в табл. 1.

Таблица 1

**Распределение экспертов по основным направлениям экспертной деятельности**

| № п/п | Основное направление                                                                 | количество экспертов   |                 |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------|
|       |                                                                                      | все зарегистрированные | аккредитованные |
| 1     | Информационно-телекоммуникационные системы                                           | 506                    | 405             |
| 2     | Биотехнологии                                                                        | 299                    | 265             |
| 3     | Медицина и здравоохранение                                                           | 493                    | 424             |
| 4     | Новые материалы и нанотехнологии                                                     | 745                    | 667             |
| 5     | Транспортные и космические системы                                                   | 296                    | 271             |
| 6     | Рациональное природопользование                                                      | 742                    | 613             |
| 7     | Энергоэффективность и энергосбережение                                               | 409                    | 313             |
| 8     | Междисциплинарные исследования социально-экономической и гуманитарной направленности | 851                    | 679             |
| 9     | Лазерные, оптические и оптоэлектронные технологии                                    | 73                     | 58              |
| 10    | Естественные науки                                                                   | 529                    | 454             |
| 11    | Ресурсы и природа Мирового океана                                                    | 7                      | 6               |
| 12    | Не указано                                                                           | 549                    | 0               |
| Всего |                                                                                      | 5499                   | 4155            |

На диаграмме рис. 2 показана сравнительная динамика изменения состава ФРЭ по основным направлениям экспертной деятельности экспертов по результатам двух отчетных периодов (2015 и 2016 гг.).

Анализ статистических данных показывает, что основная база экспертов, входящих в экспертное сообщество научно-технической сферы, в настоящее время создана и в целом укомплектована, поэтому и изменения по каждому направлению не столь значительны.

В рамках работы по созданию и формированию ФРЭ с 2012 г. были охвачены ключевые организации и основные центры компетенции, что объясняет незначительный процент притока новых специалистов в последние годы. В результате проделанной в первые годы формирования реестра работы по взаимодействию с ведущими научными, образовательными и производственными организациями в ФРЭ зарегистрированы специалисты, представляющие более 1300 организаций, в том числе вузы, учреждения Российской академии наук, компании реального сектора экономики, технологические платформы.

Одним из направлений организационно-методической работы было обеспечение представительства в ФРЭ высококвалифицированных специалистов, работающих в центрах ком-

петенции, из всех регионов Российской Федерации. На рис. 3 показаны регионы, включающие 20 и более организаций, сотрудники которых являются экспертами ФРЭ.

Проведенный анализ показывает, что наибольшее количество организаций, представленных в ФРЭ, сосредоточено в научно-индустриальных центрах, таких как Москва, Санкт-Петербург, Московская, Новосибирская и Свердловская области.



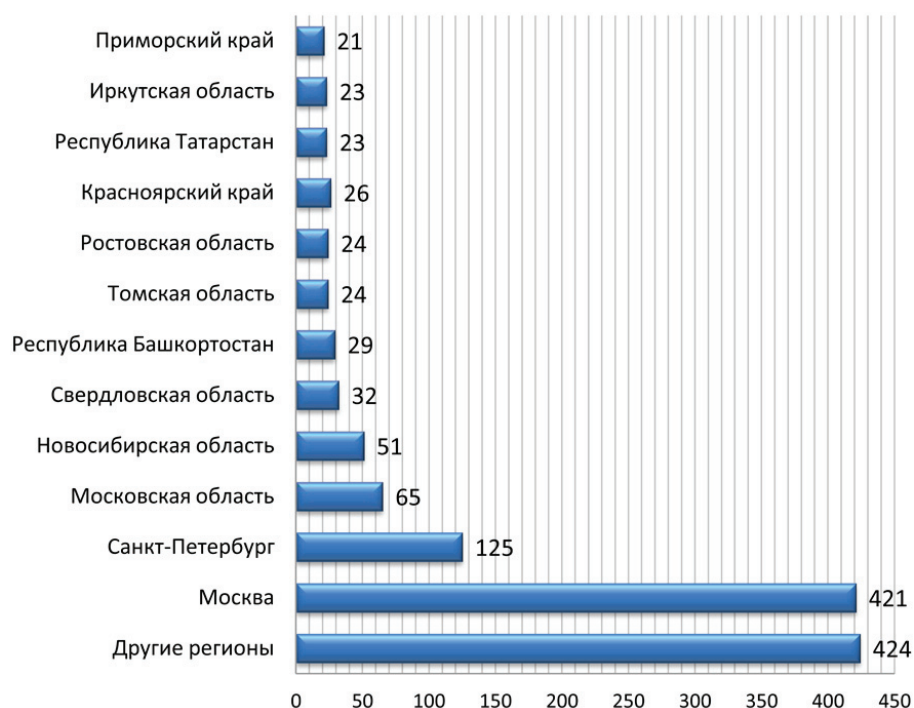
**Рис. 2. Сравнительные данные по количеству аккредитованных экспертов по основным направлениям экспертной деятельности в 2015 и 2016 годах**

На рис. 4 приведены результаты анализа распределения экспертов ФРЭ по регионам Российской Федерации.

Наиболее представительными регионами в ФРЭ по числу ученых и специалистов являются Москва, Санкт-Петербург, а также Новосибирская, Московская, Томская, Ростовская, Нижегородская, Саратовская и Свердловская области, Красноярский край.

Распределение экспертов по федеральным округам показано на рис. 5.

Представленное распределение аккредитованных экспертов по федеральным округам объясняется концентрацией профильных научных и образовательных организаций и учреждений в данных регионах.



**Рис. 3. Распределение организаций, представленных в ФРЭ, по регионам Российской Федерации**

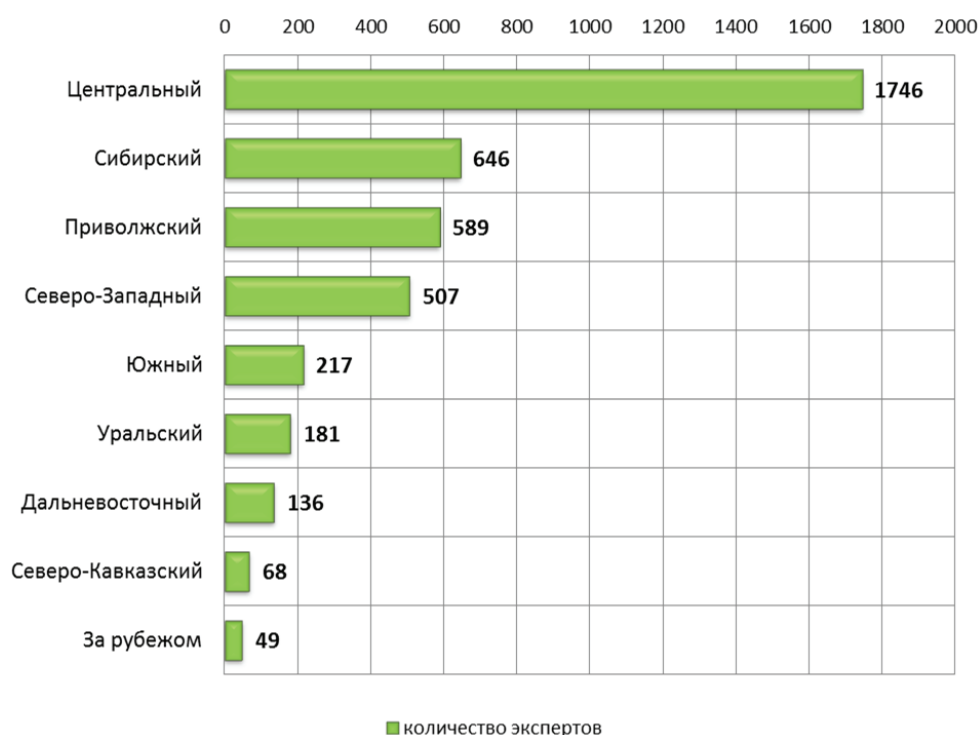


**Рис. 4. Распределение экспертов по регионам Российской Федерации**

Необходимо отметить высокий квалификационный уровень экспертного сообщества научно-технической сферы: в состав ФРЭ на данный момент входят 3340 докторов наук, 769 кандидатов наук, в том числе 1774 профессора, 105 академиков РАН, 181 член-корреспондент.



Организация взаимодействия с экспертами в режиме удаленного доступа при назначении заданий на проведение экспертно-аналитических исследований основана, в первую очередь, на анализе указанных ими областей научных интересов и направлений экспертной деятельности [5,6]. При этом в ИС ФРЭ каждый эксперт определяет область своей компетенции, потенциально интересной для реализации функций Минобрнауки России, в соответствии с принятыми классификаторами научно-технологической деятельности.



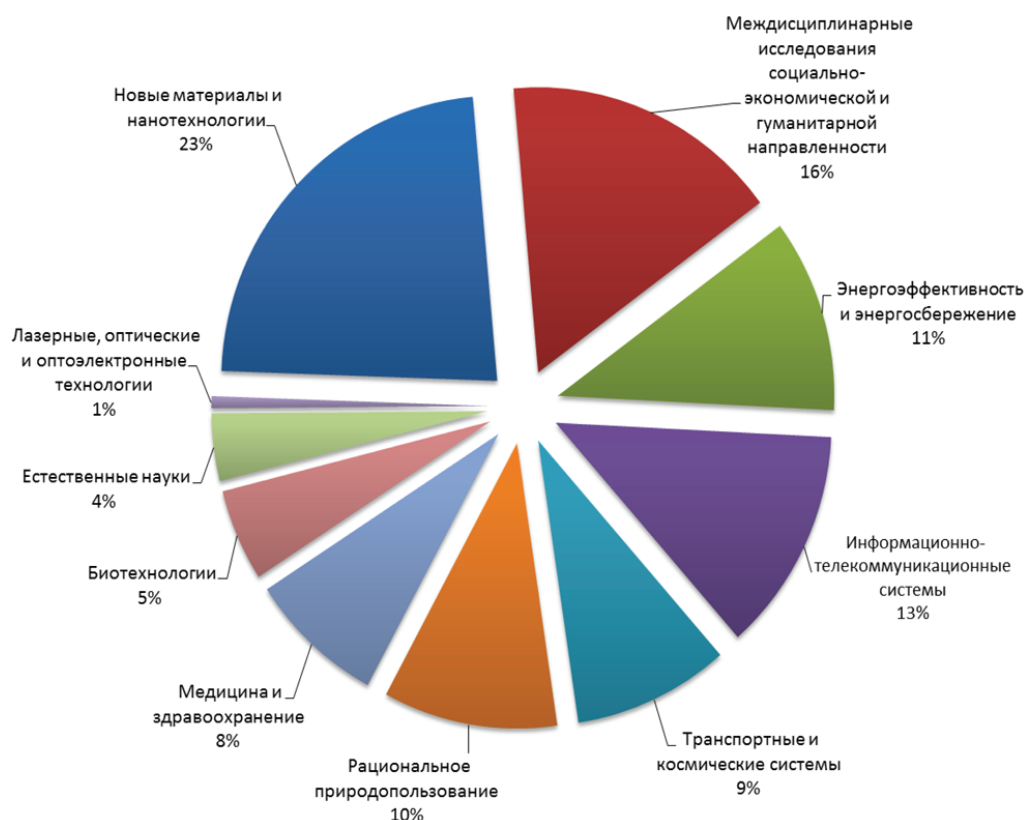
**Рис. 5. Распределение аккредитованных экспертов по федеральным округам**

Распределение количества выполненных экспертно-аналитических исследований в различных областях научно-технической деятельности приведено на рис. 6.

Как видно из диаграммы, наибольшее количество результатов экспертно-аналитических исследований представлено экспертами в направлениях: новые материалы и нанотехнологии, междисциплинарные исследования социально-экономической и гуманитарной направленности, информационно-телекоммуникационные системы, энергоэффективность и энергосбережение.

В связи с расширением в последние годы процессов реструктуризации отечественной науки и системы высшего образования происходит их интеграции в мировую научно-образовательную сферу, включая совместную постановку и решение научно-исследовательских задач. Особое значение приобретает расширение и укрепление сотрудничества российских ученых, работающих за рубежом, с российским научно-образовательным и экспертным сообществом. Основная цель такого сотрудничества, с точки зрения разработчиков отечественной научно-технической политики, состоит в повышении конкурентоспособности российского сектора исследований и разработок и системы образования. Одной из важнейших задач взаимодействия с учеными-соотечественниками, работающими за рубежом, является использование их знаний и опыта для разработки перспективных направлений развития науки и технологии,

экспертизы инновационных программ и проектов. В настоящее время русскоязычные ученые, работающие за рубежом, представляют сообщество – российскую научную диаспору, поддерживают отношения друг с другом и коллегами на родине. Среди них – профессора университетов, руководители лабораторий, самостоятельные исследователи.



**Рис. 6. Распределение объемов проведенных работ по направлениям экспертной деятельности**

Знания и опыт ученых-соотечественников, работающих за рубежом, представляют большой интерес для развития российской науки, технологий и техники. Поэтому в состав экспертного сообщества научно-технической сферы включены зарубежные ученые и специалисты (табл. 2).

Таким образом, анализ приведенных статистических данных о качественном и количественном составе ФРЭ, показывает, что экспертное сообщество сформировано из высококвалифицированных ученых и специалистов в различных областях научно-технологического комплекса и сферы образования, которое охватывает все регионы Российской Федерации, а также ученых-соотечественников, работающих за рубежом.

Проводимый комплекс мероприятий по совершенствованию организационно-методического и информационного обеспечения ФРЭ обеспечил привлечение экспертного сообщества к проведению экспертно-аналитических исследований различной направленности, в том числе подготовке предложений в прогноз развития науки, техники и технологий, разработке информационно-аналитических материалов по состоянию и прогнозу развития научно-технического потенциала ведущих иностранных государств, экспертизе проектов по реализации программ повышения конкурентоспособности вузов.

Таблица 2

**Сведения о распределении ученых-соотечественников,  
работающих за рубежом, по странам**

| №<br>п/п | Название страны           | Количество<br>экспертов |
|----------|---------------------------|-------------------------|
| 1        | Германия                  | 12                      |
| 2        | Соединенные Штаты Америки | 9                       |
| 3        | Великобритания            | 5                       |
| 4        | Франция                   | 3                       |
| 5        | Швеция                    | 3                       |
| 6        | Финляндия                 | 2                       |
| 7        | Беларусь                  | 1                       |
| 8        | Бельгия                   | 1                       |
| 9        | Бразилия                  | 1                       |
| 10       | Голландия                 | 1                       |
| 11       | Дания                     | 1                       |
| 12       | Израиль                   | 1                       |
| 13       | Испания                   | 1                       |
| 14       | Италия                    | 1                       |
| 15       | Канада                    | 1                       |
| 16       | Норвегия                  | 1                       |
| 17       | Оман                      | 1                       |
| 18       | Украина                   | 1                       |
| 19       | Чехия                     | 1                       |
| 20       | Швейцария                 | 1                       |
| 21       | Япония                    | 1                       |

Направления дальнейшего совершенствования методического обеспечения взаимодействия с экспертным сообществом, актуализации и повышения качественного состава ФРЭ будет определяться новыми конкретными задачами, поставленными заказчиками экспертно-аналитических исследований.

*Работа выполнена в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания по проекту № 2.4259.2017/НМ.*

**Список литературы**

1. Департамент науки и технологий [Электронный ресурс] / Министерство образования и науки Российской Федерации. Available at: <http://минобрнауки.рф/департаменты/389/файл/2390>. 13.08.07-Приказ\_940.pdf, свободный. (Дата обращения: 08.02.2017).
2. Департамента стратегии, анализа и прогноза [Электронный ресурс] / Министерство образования и науки Российской Федерации. Available at: <http://минобрнауки.рф/департаменты/380/файл/4555/Приказ%20№%20636%20от%2006.06.2014.pdf>, свободный. (Дата обращения: 08.02.2017).
3. Положение о Федеральном реестре экспертов научно-технической сферы [Электронный ресурс] / Федеральный реестр экспертов научно-технической сферы. Available at: <https://reestr.extech.ru/docs/polojhenie.php>, свободный. (Дата обращения: 20.02.2017).

4. Дивуева Н.А., Рыбаков Ю.Л., Шкрабалюк А.К., Баннова И.В., Сытник Д.Е., Фесуненко Л.Л. Опыт формирования Федерального реестра экспертов научно-технической сферы // Инноватика и экспертиза: науч. тр. М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. Вып. 1(8): 2012.

5. Миронов Н.А., Дивуева Н.А. Актуальные вопросы привлечения экспертного сообщества научно-технической сферы к прогнозированию и решению научно-технологических задач социально-экономического развития // Инноватика и экспертиза: науч. тр. М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. Вып. 1(16): 2016.

6. Дивуева Н.А. Особенности отбора экспертов в научно-технической сфере в процессе организации инновационной деятельности // Наука и современность – 2014: сборник материалов XXXI Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. С.С. Чернова. Новосибирск: Изд-во ЦРНС. № 31: 2014.

## References

1. *Departament nauki i tekhnologiy (Elektronnyy resurs)* [Department of Science and Technology (Electronic resource)] *Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii* [Ministry of Education and Science of the Russian Federation]. Available at: [http://минобрнауки.рф/департаменты/389/файл/2390/13.08.07Приказ\\_940.pdf](http://минобрнауки.рф/департаменты/389/файл/2390/13.08.07Приказ_940.pdf). (Reference date: 08.02.2017).

2. *Departament strategii, analiza i prognoza (Elektronnyy resurs)* [Department of strategy, analysis and forecast (Electronic resource)] *Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossiyskoy Federatsii* [Ministry of Education and Science of the Russian Federation]. Available at: <http://минобрнауки.рф/департаменты/380/файл/4555/Приказ%20№%20636%20от%2006.06.2014.pdf>. (Reference date: 08.02.2017).

3. *Polozhenie o Federal'nom reestre ekspertov nauchno-tekhnicheskoy sfery (Elektronnyy resurs)* [Regulations on the Federal Register of Experts in the Scientific and Technical Sphere (Electronic resource)] *Federal'nyy reestr ekspertov nauchno-tekhnicheskoy sfery* [The Federal Register of Experts of the Scientific and Technical Sphere]. Available at: <https://reestr.extech.ru/docs/polojhenie.php>. (Reference date: February 20, 2017).

4. Divuyeva N.A., Rybakov Y.L., Shkrabalyuk A.K., Bannova I.V., Sytnik D.E., Fesunencko L.L. (2012) *Opyt formirovaniya Federal'nogo reestra ekspertov nauchno-tekhnicheskoy sfery* [Experience in the formation of the Federal Register of Experts of the Scientific and Technical Sphere] *Innovatika i ekspertiza. Nauch. tr. FGBNU NII RINKTsE* [Innovatics and Expert Examination. Scientific works. SRI FRCEC], Moscow, vol. 1(8).

5. Mironov N.A., Divueva N.A. (2016) *Aktual'nye voprosy privlecheniya ekspertnogo soobshchestva nauchno-tekhnicheskoy sfery k prognozirovaniyu i resheniyu nauchno-tekhnologicheskikh zadach sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya* [Actual issues of involving the expert community of the scientific and technical sphere in forecasting and solving scientific and technological problems of social and economic development] *Innovatika i ekspertiza. Nauch. tr. FGBNU NII RINKTsE* [Innovatics and Expert Examination. Scientific works. SRI FRCEC], Moscow, vol. 1 (16).

6. Divueva N.A. (2014) *Osobennosti otbora ekspertov v nauchno-tekhnicheskoy sfere v protsesse organizatsii innovatsionnoy deyatel'nosti* [Features of selection of experts in the scientific and technical sphere in the process of organizing innovation activity] *Nauka i sovremennost' – 2014: sbornik materialov XXXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Pod obshch. red. S.S. Chernova. Izd-vo TsRNS* [Science and modernity – 2014. Sourcebook of the XXXI International Scientific and Practical Conference. General edit. of S.S. Chernov. Publishing House CDSC], Novosibirsk. No. 31.

## СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА КЕРАМИКИ МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

**А.Л. Галиновский**, зав. каф. МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р техн. наук, д-р. пед. наук, профессор, [galcomputer@mail.ru](mailto:galcomputer@mail.ru)

**К.С. Самсонов**, студ. МГТУ им. Н.Э. Баумана, [sams1@bk.ru](mailto:sams1@bk.ru)

**А.В. Севрюкова**, студ. МГТУ им. Н.Э. Баумана, [alexandra.sevryukova@gmail.com](mailto:alexandra.sevryukova@gmail.com)

**А.Р. Салахатдинова**, асп. МГТУ им. Н.Э. Баумана

*В работе детально рассматривается сравнение инновационных методов диагностики и контроля качества конструкционной керамики. Сравнение осуществляется методом экспертного оценивания с подробным рассмотрением всех этапов проведения экспертизы. Разработаны условия получения результатов, найдено необходимое число экспертов в рабочей группе, определены весовые коэффициенты, рассчитаны меры надежности и интервалы доверительных оценок. Для обработки результатов используется ранжирование взвешенной суммы по всем методам для каждого эксперта, проверка достоверности основывается на расчете коэффициента конкордации Кендалла.*

**Ключевые слова:** метод, диагностика, экспертиза, конструкционная керамика, контроль качества, экспертное оценивание.

## COMPARISON OF DIFFERENT METHODS OF CONTROL AND DIAGNOSTICS OF THE QUALITY OF THE CERAMICS BY THE METHOD OF EXPERT ESTIMATION

**A.L. Galinovskiy**, Head of Department, Bauman Moscow State Technical University, Ph.D. of Engineering, Ph.D. of Education, Professor, [galcomputer@mail.ru](mailto:galcomputer@mail.ru)

**K.S. Samsonov**, Student, Bauman Moscow State Technical University, [sams1@bk.ru](mailto:sams1@bk.ru)

**A.V. Sevryukova**, Student, Bauman Moscow State Technical University, [alexandra.sevryukova@gmail.com](mailto:alexandra.sevryukova@gmail.com)

**A.R. Salahetdinova**, Postgraduate, Bauman Moscow State Technical University

*The work considers in detail the comparison of innovative methods of diagnostics and quality control of structural ceramics. The comparison is performed by the method of expert assessment focusing on all stages of the examination. Developed terms of getting results, found the required number of experts in the working group, defined the weighting factors, calculated measures of reliability and intervals of confidence estimates. For processing the results, we use the ranking of the weighted sum of all methods for each of the expert, validation is based on the calculation of coefficient of concordance Kendall.*

**Keywords:** method, diagnosis, examination, structural ceramics, quality control, expert evaluation.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана выполнена инициативная научно-исследовательская работа по разработке новых методов контроля и диагностики качества конструкционной керамики (КК). На сегодняшний день известно несколько видов технологического воздействия как средства получения диагностической информации об объекте воздействия. Многовариантный характер видов воздействий обуславливает необходимость применения на начальном этапе исследований методов теории принятия решений, в частности метода экспертного оценивания.

В основе метода экспертного оценивания (ЭО) лежит процедура формирования взвешенного решения недостаточно четко формализованных задач [1], которые ставятся перед экспертами-специалистами в виде набора вопросов — анкет. Другими словами экспертные методы используют, главным образом, в тех случаях, когда квантификация (т.е. количественное выражение) какого-либо свойства невозможна другим способом или вызывает затруднение получения достоверных данных путем физических или статистических измерений искомой величины.

Методы ЭО получили широкое распространение в квалиметрии наряду с непосредственным измерением свойств объектов в натуральных единицах физических величин. Данный метод позволяют принимать решения и делать выводы по различным аспектам. Популярность данной методики обуславливается несколькими моментами. Первым является возможность получения количественных показателей при использовании на входе качественных данных. Второй момент — возможность получения оценок на основе анализа множественных факторов, которые очень сложно оценить математически. Третьим моментом является простота методики по сравнению с созданием экономико-математических моделей для принятия решения. Процедура проведения ЭО получила широкое развитие, хорошо обоснована и максимально формализована [1]. Кроме того, хорошо разработан математический аппарат оценки точности определения экспертных оценок, в том числе на базе современного представления о распределении мнений экспертов.

В целом, классическая методика проведения экспертизы состоит из следующих основных этапов:

I этап — разработка условий получения экспертных оценок, включающий создание рабочей группы, определение численности экспертов и требований к их квалификации;

II этап — основной этап, включающий:

- создание экспертной группы;
- ориентировку экспертов;
- определение критериев оценивания;
- определение коэффициентов весомости выбранных критериев.

Предполагается, что на этом этапе эксперты знакомятся с задачами экспертизы, организаторы экспертизы совместно с экспертами выделяют критерии, по которым будет проводиться оценка сформулированной проблемы. Затем определяются весовые коэффициенты выбранных критериев, и в заключении проводится сравнительная оценка альтернативных проектов по выбранным критериям. Для каждого подэтапа разрабатываются анкеты, которые распространяются среди экспертов;

III этап — получение результатов экспертизы; этот этап состоит из обработки индивидуальных суждений экспертов и получения групповой оценки;

IV этап — использование полученных экспертных оценок для формирования взвешенного решения.

На первом этапе формируют рабочую группу экспертов, которая способна корректно решать поставленные перед ней задачи. При проведении экспертиз основной проблемой является определение количества привлеченных экспертов. В данном случае возникает два рода ошибок: первая — недостаточное количество экспертов для принятия обоснованного решения по итогам ЭО; вторая — привлекается слишком большое количество экспертов, что приводит к удорожанию самой процедуры и увеличению времени на ее проведение, а это для решений в области интенсивно развивающейся оборонной промышленности неприемлемо. Поэтому перед нами стоит вопрос о минимальном количестве экспертов, при котором принятое решение будет надежным. Необходимо четко понимать, как определить то число, от которого будет зависеть процедура и время, потраченное на принятие решения.

Для начала определим минимальное количество экспертов. Данный вопрос нельзя сводить к выводу: чем больше экспертов, тем точнее определение будущего результата, такое



мнение является ошибочным. Это связано, прежде всего, с высокой наукоемкостью данной области научных исследований и на этапе анализа анкет коэффициент согласованности экспертной группы будет очень низок. Лучше определять минимальное число экспертов, при котором результаты экспертиз можно признать надежными [2].

Отталкиваться будем от того, что для анализа оценок будет использован подход к экспертным оценкам с целью определения ранга. Методика заключается в том, что мы ранжируем объекты изучаемой совокупности, приписывая каждому из них порядковый номер, соответствующий итогам сравнения по данному признаку с остальными объектами по методу взвешенной суммы [3]. Переменных всегда несколько, иначе привлечение экспертов не имеет смысла, т.к. одиночные параметры легко ранжируются. Ранжирование  $n$ -объектов производится по экспертным оценкам  $m$ , определяющим последовательность рангов. Существует методика проверки согласованности,  $m$ -экспертных оценок друг с другом. С этой целью определяется коэффициент согласованности ( $W$  – коэффициент конкордации Кендалла) [4], вычисляемый по формуле:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n D_i^2}{m^2 (n^3 - n)}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество оцениваемых объектов,  $m$  – число экспертов, участвующих в проведении экспертного опроса,  $D$  – дисперсия отклонений от среднего.

Для решения поставленной задачи необходимо преобразовать формулу (1) и определить количество экспертов. Получим:

$$m = \sqrt{\frac{12 \sum_{i=1}^n D_i^2}{W (n^3 - n)}}. \quad (2)$$

Для использования данной формулы необходимо знать дисперсию предполагаемой выборки и заложить ту минимальную величину коэффициента согласованности ( $W$ ), при которой можно принять сделанные экспертами выводы достоверными. Для упрощения вычислений введем показатель зависимости от количества оцениваемых экспертами объектов к сумме квадратов отклонения от среднего ( $S$ ):

$$S = \frac{12 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n^3 - n}. \quad (3)$$

По результатам исследований было выявлено, что данное выражение и определяет количество экспертов, и имеет квадратичную зависимость с их числом, что связано с основной особенностью, заложенной в формулу коэффициента согласованности. При этом данный показатель имеет максимальное значение при полной согласованности и минимальное – при наибольшем несогласии мнений экспертов. В связи с этим определяющим фактором минимального значения количества экспертов для надежного принятия решения будет размер коэффициента конкордации Кендалла. Тогда формулу (2) можно преобразовать следующим образом:

$$m = \sqrt{\frac{S}{W}}. \quad (4)$$

Для примера были рассчитаны значения минимального количества экспертов при заданном числе коэффициента конкордации при условии, что оптимальное число возможных привлеченных экспертов равно 9, т.е. когда девять экспертов могут дать полностью согласованное решение ( $W = 1$ ).

Получается, что чем ниже ожидаемый коэффициент согласованности, тем больше экспертов нам необходимо привлекать для принятия обоснованного решения. И наоборот: чем более единогласны эксперты, тем меньше их нужно. Из расчетов следует, что при высоком значении коэффициента конкордации, чтобы доказать полное расхождение мнений, нужно 3 человека, а полное единодушие – 9, что ставит под сомнение практичность данного метода для определения минимального количества экспертов, т.к. всегда можно будет снизить их количество, просто поставив условие, что нам нужно найти максимальный плюрализм мнений.

Если сделать графическую интерпретацию полученных результатов (рис. 1), то можно увидеть на рисунке простую квадратичную зависимость между дисперсией и количеством привлекаемых экспертов [1]. Используя такую зависимость, можно предложить более простую модель определения количества экспертов.

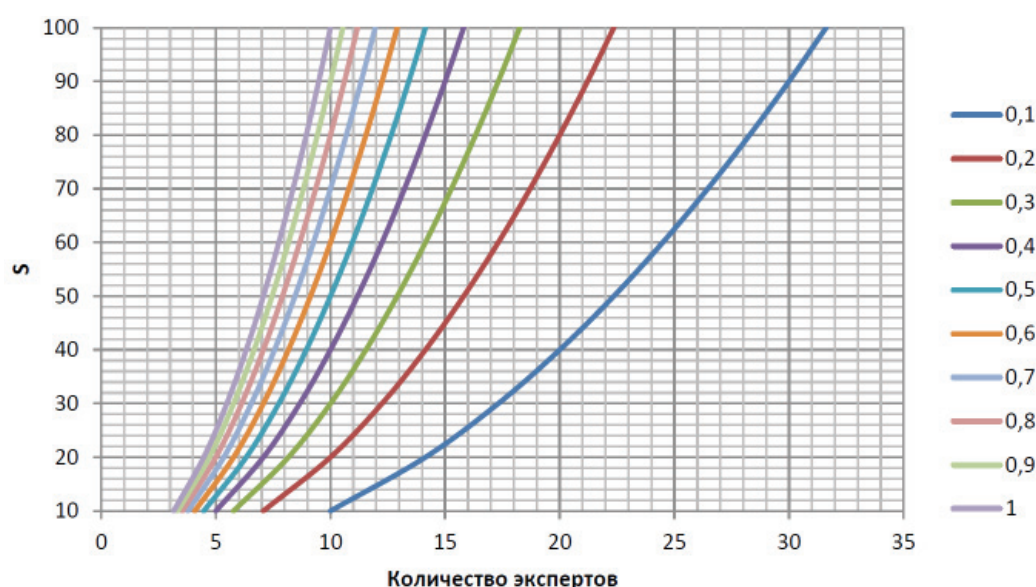


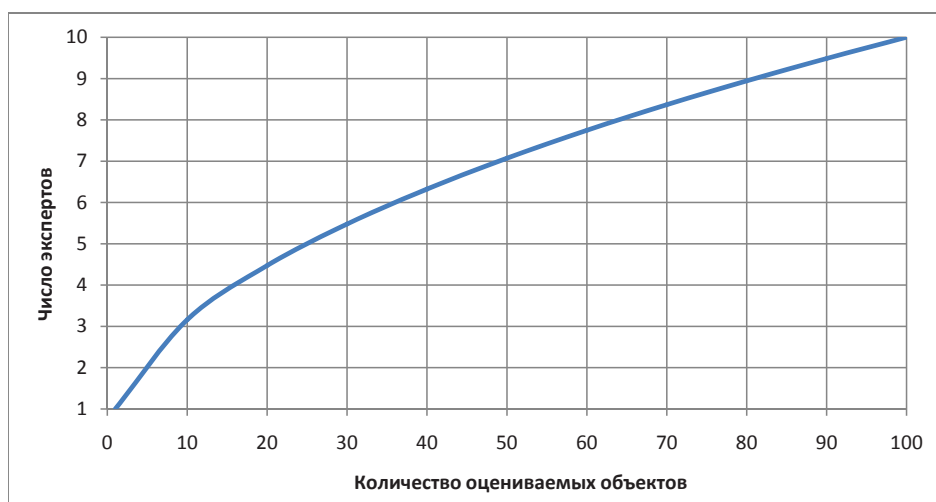
Рис. 1. Зависимость между дисперсией и количеством привлекаемых экспертов

В статистике принят упрощенный способ определения количества классов для построения гистограммы [5]. Он заключается в извлечении корня от числа измерений. Тогда для определения количества экспертов можно предложить зависимость между наличием оцениваемых объектов или элементов по упрощенной формуле:

$$m = \sqrt{n} . \quad (5)$$

Для обоснования этой зависимости построим график взаимосвязи значения количества экспертов от оцениваемых объектов от 2 до 100. Как видно из графика на рис. 2, зависимость позволяет быстро определить минимальное количество экспертов от числа выносимых на экспертизу оцениваемых элементов или объектов. Плюсом такой методики является полная независимость от способа выставления оценок: ранжированные оценки или простой балльный метод – минимальное число экспертов будет одним и тем же. Но данный метод может привес-

ти к необоснованному увеличению числа экспертов, а в некоторых случаях поставить под сомнение возможность проведения экспертных оценок. Следует подчеркнуть, что данная зависимость работает только в том случае, когда эксперты имеют высочайшую квалификацию по данному вопросу.



**Рис. 2. Зависимость между количеством оцениваемых объектов и количеством привлекаемых экспертов**

Из-за сложности поиска экспертов высочайшей квалификации по вопросу контроля и диагностики качества конструкционной керамики были привлечены специалисты из оборонных отраслей промышленности. Учитывая этот факт, увеличиваем количество экспертов в три раза.

Для качественной оценки степени согласованности мнений экспертов будем использовать вербально-числовую шкалу (шкалу отношений), предложенную Харрингтоном [2], которая приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Вербально-числовая шкала Харрингтона**

| № п/п | Числовое значение коэффициента конкордации | Оценка степени согласованности мнений экспертов |
|-------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1     | $0 \leq W \leq 0,2$                        | Согласованность очень низкая                    |
| 2     | $0,2 \leq W \leq 0,37$                     | Согласованность низкая                          |
| 3     | $0,37 \leq W \leq 0,64$                    | Согласованность средняя                         |
| 4     | $0,64 \leq W \leq 0,8$                     | Согласованность высокая                         |
| 5     | $0,8 \leq W \leq 1,0$                      | Согласованность очень высокая                   |

Второй этап. Экспертам предлагалось оценить значимость критериев, путем проставления значений весовых коэффициентов по десятибалльной шкале, где: 1 – пренебрежительно малое; 2 – очень низкое; 3 – низкое; 4 – удовлетворительное; 5 – среднее; 6 – выше среднего; 7 – значительное; 8 – высокое; 9 – очень высокое; 10 – определяющее. На втором этапе – по данным критериям сравнить представленные методы, с целью оценки перспектив контроля и диагностики качества КК.

Критерии, характеризующие целесообразность использования приведенных методов, с целью получения диагностической информации об объекте воздействия, были предложены: информативность, изученность, управляемость, перспективность, техническая реализуемость, затраты, инвестиционная перспективность и соответствие вида воздействия реальному. Было предложено пять основных методов диагностики, из которых каждый может быть как разрушающим, так и неразрушающим.

Первый метод — статический, который подразумевает статическое нагружение образца силой ( $F$ ) и/или моментом ( $M$ ) в условиях постоянной или переменной нагрузки. При условии что:  $F \ll F_{кр}$ ,  $M \ll M_{кр}$  и информативные параметры контролируются методом акустической эмиссии (АЭ), либо  $F = F_{кр}$ ,  $M = M_{кр}$ .

Второй метод — динамический ударный. Прикладывается динамическое воздействие на образец из КК ударом шарика, установленного на некоторой высоте ( $h$ ) от поверхности образца (масса,  $h$  и материал шарика — варьируемые величины), либо динамическое воздействие на образец оказывается при помощи высокоскоростного ударника.

Третий метод — динамический с использованием потоков высоких энергий [6]. Сущность этого метода заключается в том, что на поверхность образцов оказывается локальное (точечное) или по различным траекториям воздействие потоком. Под потоком высоких энергий подразумевается ультраструя [7–8] или лазер. Контроль информативных параметров ведется методом АЭ, при этом время воздействия ( $t_{возд}$ ) стремится к нулю, либо воздействие продолжается до разрушения образца.

Четвертый метод — статико-динамический. Образец нагружается комбинацией термической и статической (постоянной или переменной) нагрузки при условиях:  $F \ll F_{кр}$ ,  $M \ll M_{кр}$  информативные параметры контролируются методом АЭ. Так же возможно аналогичное воздействие, но образец нагружается совокупностью термической и статической нагрузки при условии:  $F \leq F_{кр}$ .

Пятый метод — физический. Неразрушающим методом предлагает определение плотности ( $\rho$ ) КК, проходящей через нее скорость звука ( $c$ ) и отношение  $\rho/c$ . Разрушающий метод контроля — оценка остаточной длины ударника после его взаимодействия с преградой из КК. Учитывается  $h_0$  — начальная длина,  $h_1$ ,  $h_2$  — длина после взаимодействия с КК,  $h_1$  соответствует времени задержки  $t_{31}$ ,  $h_2$  соответствует  $t_{32}$ . Пример заполненной анкеты показан на рис. 3.

Третий этап. Для проведения процедуры анализа/обработки данных, полученных при проведении анкетирования экспертной группы была использована «Программа статистической обработки данных экспертных оценок», которая была разработана на кафедре Технологии ракетно-космического машиностроения Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Программа позволяет произвести оценку объектов по заданным критериям методом взвешенной суммы, произвести оценку достаточности экспертной группы, определить согласованность мнения экспертов и т.д. Для начала работы программы необходима анкетная система с критерием, объектом и хотя бы одна экспертная анкета. Исходные данные могут быть созданы как средствами самой программы, так и загружены из файла типа \*.xls и \*.xlsx, с которыми работает MS Excel. По окончании ввода исходных данных (все ячейки в таблицах заполнены) полная обработка данных происходит автоматически. На выходе мы получаем обработанные данные, сведенные в таблицу, которые в последующем можно сохранить как файл типа \*.xls или \*.xlsx. Полученные результаты можно также представить и в графическом виде, если выделить необходимый диапазон в таблице, что существенно ускоряет процедуру анализа.

Помимо основных, интересующих нас расчетов перечисленных на первом этапе, программа также проводит расчет и отображает результаты в виде таблиц: меры надежности экспертизы, доверительный интервал оценок, для каждого эксперта таблицу взвешенной суммы, обобщенной ранжировки объекта и обобщенной ранжировки эксперта.

### Анкета

**Сравнение различных методов контроля и диагностики качества керамики**

Уважаемый эксперт! В МГТУ им. Н.Э. Баумана выполняется инициативная НИР по разработке новых методов контроля и диагностики качества конструкционной керамики (КК). На сегодняшний день известно несколько видов технологического воздействия как средства получения диагностической информации об объекте воздействия.

На первом этапе Вам предлагается оценить значимость критериев, путём проставления значений весовых коэффициентов по десятибалльной шкале (Таблица 1), на втором этапе - по данным критериям сравнить представленные ниже методы, с целью оценки перспектив контроля и диагностики качества КК.

Оценку просьба производить по десятибалльной шкале:

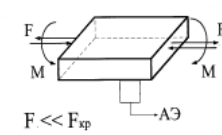
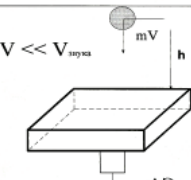
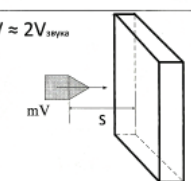
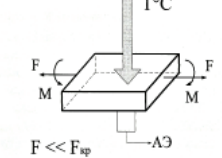
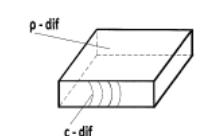
|   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

где: 1 – пренебрежительно малое; 2 – очень низкое; 3 – низкое; 4 – удовлетворительное; 5 – среднее; 6 – выше среднего; 7 – значительное; 8 – высокое; 9 – очень высокое; 10 – определяющее.

Таблица №1 – Значимость критериев, характеризующих целесообразность использования приведенных методов с целью получения диагностической информации об объекте воздействия

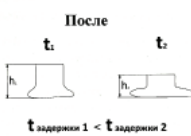
| Критерий                                      | Весовой коэффициент | Критерий                            | Весовой коэффициент |
|-----------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Информативность (ИНФ)                         | 4                   | Изученность (ИЗ)                    | 5                   |
| Управляемость (УПР)                           | 5                   | Перспективность (ПЕР)               | 2                   |
| Техническая реализуемость (ТР)                | 5                   | Затраты (ЗТР)                       | 5                   |
| Соответствие вида воздействия реальному (СВР) | 10                  | Инвестиционная перспективность (ИП) | 5                   |

\*Обозначения в Таблице №2.  
 КК – конструкционная керамика  
 НК – неразрушающий контроль  
 РК – разрушающий контроль  
 АЭ – акустическая эмиссия  
 Var (Varies) – варьируется  
 Кр. – критическое значение  
 V – скорость движения ударника массой m  
 Таблица №2 – Методы контроля и диагностики качества керамики

| № п/п | Наименование метода и его краткое описание                                                                                                                                                                                                            | Конструктивное исполнение                                                                                            | Критерии                                                                |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1     | <b>Статический</b><br>Образец нагружается статической силой (F) и/или моментом (M) в условиях постоянной или переменной нагрузки.<br>При условиях: $F << F_{кр}$<br>$M << M_{кр}$<br>Контролируются информативные параметры АЭ                        | <br>$F << F_{кр}$<br>$M << M_{кр}$ | ИНФ 10<br>УПР 10<br>ТР 10<br>СВР 10<br>ИЗ 10<br>ПЕР 10<br>ЗТР 5<br>ИП 5 |
| 2     | <b>Динамический ударный</b><br>Оказывается динамическое воздействие на образец из КК ударом шарика массой m, установленного на некоторой высоте h от поверхности образца.<br>m, h, материал шарика → var<br>Контролируются информативные параметры АЭ | <br>$V << V_{шарика}$             | ИНФ 5<br>УПР 3<br>ТР 5<br>СВР 3<br>ИЗ 3<br>ПЕР 3<br>ЗТР 3<br>ИП 5       |
| 3     | <b>Динамический метод с использованием потоков высоких энергий</b><br>На поверхность образцов оказывается локальное (точечное) или по различным траекториям воздействие.<br>Контролируются информативные параметры АЭ                                 | <br>$V \approx 2V_{шарика}$       | ИНФ 10<br>УПР 10<br>ТР 10<br>СВР 10<br>ИЗ 10<br>ПЕР 10<br>ЗТР 5<br>ИП 5 |
| 4     | <b>Статико-динамический</b><br>Образец нагружается комбинацией термической и статической (постоянной или переменной) нагрузки.<br>При условиях: $F << F_{кр}$<br>$M << M_{кр}$<br>Контролируются информативные параметры АЭ                           | <br>$F << F_{кр}$                 | ИНФ 10<br>УПР 10<br>ТР 8<br>СВР 8<br>ИЗ 7<br>ПЕР 8<br>ЗТР 8<br>ИП 8     |
| 5     | <b>Физический</b><br>Определяется плотность ρ КК и скорость звука c в ней, затем отношение $\rho/c$                                                                                                                                                   | <br>$\rho - diff$<br>$c - diff$   | ИНФ 10<br>УПР 10<br>ТР 8<br>СВР 10<br>ИЗ 5<br>ПЕР 5<br>ЗТР 7<br>ИП 7    |

Оценка остаточной длины ударника после его взаимодействия с протарой из КК  
 $h_0$  – начальная длина  
 $h_1, h_2$  – длина после взаимодействия с КК  
 $h_1$  соответствует  $t_{задержки1}$   
 $h_2$  соответствует  $t_{задержки2}$

До: 

После: 

$t_{задержки1} < t_{задержки2}$

|     |    |
|-----|----|
| ИНФ | 10 |
| УПР | 10 |
| ТР  | 10 |
| СВР | 10 |
| ИЗ  | 7  |
| ПЕР | 8  |
| ЗТР | 7  |
| ИП  | 5  |

Ваши комментарии и предложения (при необходимости):

*Можно из среднестатистического значения СВР определить критерий в табл. 8 будет зависеть от конкретных условий. Если нет информации об объекте, при этом, методы 1 и 2 позволяют оценить качество исследуемого образца, методы 3-5 позволяют оценить стабильность образца на конкретных воздействиях.*

Ф.И.О.: Юрий Александров  
 Место работы, должности: ведущий инженер ОАО, РКК Энерго  
 Уч. степень, звание (если имеется): \_\_\_\_\_  
 Дата: 30.02.16г.  
 Подпись: Ю.А. Александров

Рис. 3. Пример анкеты, заполненной экспертом



Таблица взвешенных оценок представляет собой начальную таблицу, в которой значения при каждом критерии для каждого объекта умножено на его весовой коэффициент. Аналогично подсчитана взвешенная сумма по всем критериям для каждого из методов с учетом весового коэффициента и без него. В таблице обобщенной ранжировки эксперта представлена предыдущая в ранговой форме, ячейка с максимальным значением баллов получает 1-е место, далее идет 2-е и т.д. В случае равных баллов получают дробные ранги (среднее по значению).

Таблицы мер надежности экспертизы ( $\beta$ ) рассчитываются по формуле [9]:

$$\beta = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}}{x_{cp}}, \quad (6)$$

где  $x_i$  — оценка  $i$ -го эксперта,  $x_{cp}$  — средняя оценка по всем экспертам данного критерия для данного метода.

Эта таблица позволяет определить достаточность экспертной группы, а также вычислить экспертов, чьи анкеты значительно отличаются от других. Если в ячейке число меньше или равно 0,2 и ячейка светится зеленым, то все хорошо, если число больше 0,2 и меньше 0,3 это приемлемо и ячейка светится желтым. Значение  $\geq 0,3$  показывает рассогласованность экспертов по данному вопросу (данный критерий применительно к данному объекту) и предупреждает, что экспертиза может быть не надежна. Расчет можно произвести с учетом или без учета весовых коэффициентов. Результаты расчета мер надежности экспертизы показаны на рис. 4. Исходя из того, что преобладает хорошая согласованность в результатах, экспертизу можно считать надежной и в последующем использовать полученных экспертные данные для формирования взвешенного решения.

| Обработчик анкет                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                   |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Файл Настройка отображения названий Справка (F1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Таблицы одного эксперта Общие таблицы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Выберите столбец для таблицы А                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Ранжированная взвешенная сумма                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <input type="radio"/> Таблица А (по умолчанию из взвеш. суммы)<br><input type="radio"/> Таблица Б (= А*Ат)<br><input type="radio"/> Таблица С (= Ат*А)<br><input checked="" type="radio"/> Таблица обобщенной ранжировки объектов<br><input checked="" type="radio"/> Таблица мер надежности экспертизы<br><input type="radio"/> Таблица доверительных интервалов оценок |                   |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <input type="checkbox"/> учитывать весовой коэф. при расчете мер надежности                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                   |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Оценка критерия   | ИНФ    | УПР    | ТР     | СВР    | ИЗ     | ПЕР    | ЗТР    | ИП     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Объект            |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Ст(НР)            | 0,1375 | 0,1237 | 0,1118 | 0,1347 | 0,1432 | 0,1699 | 0,2333 | 0,1581 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Ст(Р)             | 0,196  | 0,1048 | 0,1265 | 0,1432 | 0,0972 | 0,1626 | 0,2    | 0,1925 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Дн(НР)            | 0,1627 | 0,2049 | 0,1968 | 0,1926 | 0,194  | 0,1286 | 0,1547 | 0,1427 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Дн(Р)             | 0,096  | 0,1044 | 0,1044 | 0,1571 | 0,1469 | 0,1411 | 0,1878 | 0,1506 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Дн с потоком (НР) | 0,0741 | 0,1131 | 0,1021 | 0,0934 | 0,2175 | 0,1091 | 0,0544 | 0,1386 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Дн с потоком (Р)  | 0,096  | 0,1346 | 0,1114 | 0,1088 | 0,2048 | 0,098  | 0,08   | 0,0956 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Ст-Дн(НР)         | 0,1088 | 0,1265 | 0,101  | 0,1269 | 0,2234 | 0,1394 | 0,1225 | 0,1457 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Ст-Дн(Р)          | 0,0769 | 0,1386 | 0,138  | 0,1559 | 0,1414 | 0,087  | 0,0909 | 0,1179 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Физ(НР)           | 0,1352 | 0,1845 | 0,2022 | 0,2828 | 0,1654 | 0,2184 | 0,2142 | 0,1972 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Физ(Р)            | 0,1332 | 0,1469 | 0,1225 | 0,1591 | 0,101  | 0,126  | 0,1506 | 0,1286 |

Рис. 4. Расчет мер надежности экспертизы

ИНФ — информативность, УПР — управляемость, ТР — техническая реализуемость, СВР — соответствие вида воздействия реальному, ИЗ — изученность, ПЕР — перспективность, ЗТР — затраты, ИП — инвестиционная привлекательность, (Р) — означает что метод разрушающий, (НР) — метод неразрушающий, Ст — статический, Дн — динамический, Дн с потоком — динамический с потоком высоких энергий, Ст-Дн — статико-динамический, Физ — физический



Доверительный интервал оценок ( $\Delta_x$ ) рассчитывается:

$$\Delta_x = t_p t_{k-1} \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}}{n}, \quad (7)$$

где  $t_p t_{k-1}$  – коэффициенты Стьюдента [10].

Проведем ранжирование взвешенной суммы по всем методам для каждого эксперта и сведем результаты в табл. 2. В таблице приняты сокращения:  $\mathcal{E}_n$  –  $n$ -ый эксперт,  $\Sigma R$  – сумма рангов по каждому методу диагностики КК.

Таблица 2

Результаты ранжирования взвешенной суммы

| Объект \ Эксперты | Э1 | Э2 | Э3 | Э4  | Э5 | Э6 | Э7  | Э8 | Э9 | $\Sigma R$ |
|-------------------|----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|------------|
| Ст (НР)           | 8  | 7  | 8  | 6,5 | 5  | 10 | 4   | 8  | 3  | 59,5       |
| СТ (Р)            | 9  | 4  | 7  | 5   | 9  | 8  | 8   | 10 | 5  | 65         |
| Дн (НР)           | 4  | 8  | 6  | 8   | 10 | 9  | 6   | 4  | 4  | 59         |
| Дн (Р)            | 1  | 3  | 5  | 4   | 3  | 4  | 9,5 | 3  | 1  | 33,5       |
| Дн с потоком (НР) | 5  | 1  | 3  | 2   | 6  | 6  | 5   | 1  | 6  | 35         |
| Дн с потоком (Р)  | 3  | 5  | 2  | 3   | 2  | 1  | 2   | 2  | 9  | 29         |
| Ст-Дн (НР)        | 6  | 9  | 1  | 9   | 1  | 2  | 7   | 6  | 7  | 48         |
| Ст-Дн (Р)         | 7  | 6  | 4  | 6,5 | 7  | 3  | 3   | 5  | 8  | 49,5       |
| Физ (НР)          | 10 | 10 | 10 | 10  | 8  | 7  | 9,5 | 9  | 10 | 83,5       |
| Физ (Р)           | 2  | 2  | 9  | 1   | 4  | 5  | 1   | 7  | 2  | 33         |

Четвертый этап. Из табл. 2 видно, что высочайшую сумму рангов получил инновационный метод диагностики и контроля качества КК в основе которого лежит динамическое локальное воздействие на образец потоками высоких энергий. Помимо результатов по ранжированию взвешенной суммы, данный метод также получил высочайшие результаты по ранжированию критериев: информативность, управляемость, перспективность и инвестиционная привлекательность. Столь высокие оценки обусловлены высокой интенсивностью развития и широким спектром применения, как лазерных, так и ультраструйных технологий.

Коэффициент согласованности экспертов  $W = 0,4117$ . Исходя из вербально-числовой шкалы Харрингтона (табл. 1) видно, что полученные результаты соответствует средней степени согласованности мнений экспертов, что является удовлетворительным. Многие эксперты отметили, что методы 1 и 2 позволяют оценить качество исходного образца, а методы 3–5 позволяют оценить стойкость образца на конкретное воздействие.

#### По итогам проведенных исследований:

1. Предложен комплексный подход для организации и проведения экспертного анализа.
2. Анализ индивидуальных суждений экспертов и групповая оценка позволили выявить фаворита из представленных для сравнения методов контроля и диагностики КК.

#### Список литературы

1. Рупосов В.Л. Методы определения количества экспертов // Вестник ИрГТУ. Социально-экономические и общественные науки. 2015. № 3(98). С. 286–292.

2. Постников В.М. Анализ подходов к формированию состава экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений // Наука и образование. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, - 2012. № 5. С. 333–346.
3. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов. Перевод с немецкого и предисловие В.М. Ивановой, М.: Финансы и статистика, 1983. С. 175–178.
4. Kendall, M. Rank correlation methods / M. Kendall. London: Griffin, 1970. 170 p.
5. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Подход к расчету весовых коэффициентов ранговых оценок экспертов при выборе варианта развития информационной системы // Наука и образование. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2013. № 08. С. 395–412.
6. Галиновский А.Л., Муляр С.Г., Хафизов М.В. Применение гибридной диагностики для оценки эксплуатационных свойств композиционной керамики // Известия вузов. Машиностроение. 2012. № 9. С. 65–69.
7. Абашин М.И. Возможности экспресс-оценки информационно- диагностических параметров изделий ультразвуковым методом // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 4–3(288). С. 128–133.
8. Абашин М.И., Бочкарев С.В., Цаплин А.И., Коберник Н.В. Ультразвуковая диагностика качества сварных швов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 12(669). С. 52–61.
9. Зорин В.А., Павлов А.П., Пегачков А.А. Контроль качества продукции и услуг: Учебное пособие. М.: МАДИ (ГТУ), 2007. 82с.
10. Шевченко А.П., Бегунов М.А. Экспериментальное исследование работы двухстрочного килевидного сошника для посева семян льна // Программные продукты и системы. Тверь.: ЗАО НИИ Центпрпрограммсистем, 2014. № 1 (127), С. 152–155.

## References

1. Ruposov V.L. (2015) *Metody opredeleniya kolichestva ekspertov* [Methods of determining the number of experts] *Vestnik IrGTU. Sotsial'no-ekonomicheskie i obshchestvennyye nauki* [Vestnik National Research Irkutsk State Technical University. Socio-economic and social Sciences], no. 3(98), pp. 286–292.
2. Postnikov V.M. (2012) *Analiz podkhodov k formirovaniyu sostava ekspertnoy gruppy, orientirovannoy na podgotovku i prinyatie resheniy* [The analysis of approaches to formation of the composition of the expert group focused on the preparation and decision-making] *Nauka i obrazovanie. Izd-vo MGTU im. Bauman* [Nauka i obrazovanie. (Science and education), BMSTU]. Moscow, no. 5, pp. 333–346.
3. Förster E., Renz B. (1983) *Metody korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza. Rukovodstvo dlya ekonomistov. Perevod s nemetskogo i predislovie V.M. Ivanovoy* [Methods of correlation and regression analysis. A guide for economists. Translated from German and Foreword by V.M. Ivanova] *Finansy i statistika* [Finansi i statistika (Finance and statistics)], pp. 175–178.
4. Kendall, M. (1970). Rank correlation methods. M. Kendall. London: Griffin, 170 p.
5. Postnikov V.M., Spiridonov S.B. (2013) *Podkhod k raschetu vesovykh koeffitsientov rangovykh otsenok ekspertov pri vybere varianta razvitiya informatsionnoy sistemy* [The approach to the calculation of the weighting factors of the ranking experts the option of developing the information system] *Nauka i obrazovanie. Izd-vo MGTU im. Bauman* [Nauka i obrazovanie (Science and education), BMSTU], Moscow, no. 8, pp. 395–412.
6. Galinowskiy A.L., Mulyar S.G., Khafizov, M.V. (2012) *Primenenie gibridnoy diagnostiki dlya otsenki ekspluatatsionnykh svoystv kompozitsionnoy keramiki* [Application of hybrid diagnosis for the assessment of operational properties of composite ceramics] *Izvestiya vuzov. Mashinostroyeniye* [Izvestiya vuzov. Engineering], no. 9, pp. 65–69.
7. Abashin M.I. (2011) *Vozmozhnosti ekspress-otsenki informatsionno- diagnosticheskikh parametrov izdeliy ul'trastruynym metodom* [The possibility of rapid assessment information and diagnostic parameters of products ultra-jet method] *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and applied problems of technics and technology], no. 4–3 (288), pp. 128–133.
8. Abashin M.I., Bochkarev S.V., Tsaplin A.I., Kobernik N.V. (2015) *Ul'trastruynaya diagnostika kachestva svarnykh shvov* [Ultra-jet diagnostics of quality of welded seams] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy*.

*Mashinostroenie* [Izvestiya visshih uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie (News of higher educational institutions. Engineering)], no. 12(669), pp. 52–61.

9. Zorin V.A., Pavlov A.P., Pagachkov A.A. (2007) *Kontrol' kachestva produktsii i uslug. Uchebnoe posobie* [Quality control of products and services. Tutorial] *MADI (GTU)* [STU MADI], Moscow, pp. 82.

10. Shevchenko A.P., Begunov M.A. (2014) *Ekspperimental'noe issledovanie raboty dvukhstrochnogo kilevidnogo soshnika dlya poseva semyan l'na* [Experimental study of two-line keeled opener for sowing seeds of flax] *Programmnye produkty i sistemy. ZAO NII Tsentrprogrammsistem* [Software products and systems. NII Tsentrprogrammsistem], Tver, no. 1(127), pp. 152–155.

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### ЗОНЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИННОВАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**А.А. Гудкова**, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. экон. наук, [gudkova@extech.ru](mailto:gudkova@extech.ru)  
**Т.И. Турко**, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. биол. наук, [ttamara16@extech.ru](mailto:ttamara16@extech.ru)

*В работе акцентировано внимание на нормах федерального законодательства, связанных с усилением роли субъектов Российской Федерации в реализации приоритетов инновационного обновления экономики регионов. Выполнен анализ тенденций инновационного развития регионов, в которых допущено создание зон территориального развития.*

**Ключевые слова:** инновационное развитие, субъект Российской Федерации, зона территориального развития, инновационный потенциал.

### ZONES OF TERRITORIAL DEVELOPMENT AS A TOOL OF THE STATE OF REGIONAL INNOVATION POLICY OF THE RUSSIAN FEDERATION

**A.A. Gudkova**, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Economics, [gudkova@extech.ru](mailto:gudkova@extech.ru)  
**T.I. Turko**, Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Biology, [ttamara16@extech.ru](mailto:ttamara16@extech.ru)

*The work focuses on the norms of federal legislation related to the strengthening of the role of the Russian Federation in the implementation of the priorities of innovative renewal of regional economy. The analysis of trends of innovative development of regions in which allowed the creation of territorial development zones.*

**Keywords:** innovative development of the Russian Federation, zone of territorial development, innovative potential.

В современных условиях регионы рассматриваются как ключевые «игроки» для обеспечения экономического и инновационного развития, выступая, наряду с городами, основой процесса развития в целом [1]. По мнению М. Портера региональные условия во многом определяют конкурентоспособность производимых товаров. Именно в локализованных территориях создается значительная доля прибавочной стоимости всех стран [2]. При этом, как показывает опыт стран Европейского союза и других развитых стран, наряду с признанием роли регионов в экономическом и инновационном развитии обязательным элементом роста экономики в целом является поддержка территорий. Необходимым условием становится проведение эффективной государственной региональной политики, предполагающей наличие отлаженной системы институтов федеральной и региональной властей, а также взаимодействие регионов как на вертикальном, так и горизонтальном уровнях. Такая система обеспечивает баланс интересов и позволяет вырабатывать эффективные решения.

Осуществление модернизации российской экономики на основе инновационного развития предполагает усиление внимания к проблемам регионального развития и выработке соответствующих направлений региональной политики. Определенным толчком для при-

знания роли регионов в решении задач инновационного развития страны стало принятие приоритетных направлений развития науки, технологий и техники, а также реализация национальных проектов, включающих региональную составляющую. Очевидным фактом стала необходимость учета региональных аспектов развития и при разработке национальной промышленной (структурной) политики.

Институциональные изменения последних лет были связаны с развитием стратегий «плюсов роста», территорий опережающего социально-экономического развития, что предопределило концентрацию в них трудовых, финансовых и технологических ресурсов. Такой подход предполагает усиление взаимодействия федеральных органов государственной власти и органов государственной власти субъектов Российской Федерации.

Целевое позиционирование роли субъектов РФ нашло отражение в ряде нормативно-правовых документов, в их числе:

- Основы государственной политики регионального развития Российской Федерации на период до 2025 года (утверждены Указом Президента Российской Федерации от 16.01.2017 № 13) (далее – Основы);

- федеральный закон от 03.12.2011 № 392-ФЗ «О зонах территориального развития в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в ред. от 28.12.2013 № 407-ФЗ) (далее – федеральный закон № 392-ФЗ).

Важным принципом государственной политики регионального развития, определенным Основами, является «реализация стимулирующих мер государственной поддержки регионов ... при условии самостоятельного осуществления органами государственной власти субъектов Российской Федерации ... своих полномочий, установленных Конституцией Российской Федерации и федеральными законами» (п. 5 г) II Принципы государственной политики регионального развития) [3].

Согласно Основам органы государственной власти субъектов РФ принимают участие в реализации приоритетных задач государственной политики регионального развития, в число которых входит привлечение частных инвестиций в негосударственный сектор экономики на региональном и местном уровнях. Одним из средств решения этой задачи является определение (уточнение) мест размещения особых (свободных) экономических зон, промышленных и технологических парков, иных зон с особыми условиями ведения предпринимательской деятельности (п. 7б) Основ).

Федеральный закон № 392-ФЗ регулирует отношения, возникающие в связи с созданием и функционированием такого институционального инструмента как «зона территориального развития» (далее – ЗТР), определяет порядок их создания и управления, а также направления государственной поддержки предпринимательской и иной экономической деятельности в указанных зонах. Закон предоставляет субъектам РФ и органам местного самоуправления возможности по созданию «опорных точек» промышленно-инновационного развития, формированию благоприятных условий для инновационной деятельности. Согласно норме п. 3 ст. 10 главы 3 органом управления ЗТР является исполнительный орган государственной власти субъекта РФ.

Зона территориального развития представляет собой часть территории субъекта РФ, на которой в целях ускорения социально-экономического развития субъекта РФ путем формирования благоприятных условий для привлечения инвестиций в его экономику резидентам ЗТР предоставляются меры государственной поддержки (п. 1 ст. 2).

Границы ЗТР ограничены территорией субъекта РФ. Создание такой зоны, согласно п. 1 ст. 5, допускается на территории одного муниципального образования или на территориях нескольких муниципальных образований, если они являются муниципальными районами или городскими округами. ЗТР создается на срок 12 лет.

Решение о формировании ЗТР принимает непосредственно Правительство Российской Федерации и оформляет соответствующим постановлением, которое является основанием



для заключения соглашения о функционировании ЗТР. Сторонами такого соглашения выступают Правительство Российской Федерации, высший исполнительный орган государственной власти субъекта РФ, исполнительно-распорядительные органы муниципального образования или муниципальных образований, на территории которого создается ЗТР.

Обязательным положением для принятия решения о создании ЗТР является наличие стратегии социально-экономического развития субъекта РФ на долгосрочную перспективу с указанием прогнозных показателей социально-экономического (включая инновационного) развития соответствующего региона, достигаемых за счет создания ЗТР (п. 2 ст. 7). Такое положение означает, что именно стратегическое планирование рассматривается в качестве важного условия для создания различных типов «бизнес-территорий» (отметим, что данный принцип распространяется не только на ЗТР, но и на особые экономические зоны, промышленные и индустриальные парки и др.).

Специальный правовой режим ЗТР заключается в государственной поддержке резидентов, предусматривающей предоставление ряда мер, к которым относится (п. 2, ст. 13):

- выделение бюджетных ассигнований из Инвестиционного фонда для реализации инвестиционных проектов с участием резидентов ЗТР;

- создание объектов капитального строительства в области энергетики, транспорта, находящихся в государственной собственности и необходимых для осуществления резидентами предпринимательской и иной экономической деятельности;

- предоставление резидентам налоговых льгот и инвестиционного кредита;

- предоставление резидентам ЗТР в аренду земельных участков и др.

Федеральный закон № 392-ФЗ определил следующие возможные преференции для резидентов ЗТР, которыми, согласно п.3 ст.13, являются:

- предоставление государственных гарантий Российской Федерации по кредитам, привлекаемым юридическими лицами;

- предоставление из федерального бюджета субсидий бюджетам субъектов РФ для целевой поддержки экономической деятельности в ЗТР и др.

Целевым назначением субсидий, выделяемых из федерального бюджета субъектам РФ (ст. 15), является возмещение резидентам ЗТР (заявки которых включены в перечни заявок) части затрат на уплату:

- процентов по кредитам, полученным в российских кредитных организациях;

- лизинговых платежей за оборудование, приобретенное у российских лизинговых компаний.

Кроме того субсидии могут предоставляться бюджету субъекта РФ на развитие инфраструктуры, включая сети инженерно-технического обеспечения (ст. 15).

Несмотря на изложенный в федеральном законе № 392-ФЗ механизм создания и функционирования ЗТР, в нем отсутствует положение о целевой «нише» этой зоны в общей системе институтов развития российской экономики в целом.

В экономической литературе [4] ЗТР рассматривается с различных позиций: новый инструмент политики «экономического выравнивания» регионов; специфический инструмент политики модернизации; комбинация двух названных инструментов.

Принимая во внимание эти позиции, можно сделать вывод, что ЗТР должны стать инструментом в новой парадигме региональной политики, предполагающей отказ как от проведения модернизации экономики в целом за счет ключевых регионов, так и от бюджетного выравнивания регионов, которое продемонстрировало низкую эффективность с точки зрения долгосрочного воздействия на экономический рост.

В интерпретации норм федерального закона № 392-ФЗ развитие ЗТР по своей сути означает проведение «экономического выравнивания» регионов на основе модернизации путем формирования «точек» инновационного развития. Другими словами речь идет об использовании двух ранее обозначенных инструментов.

Принятие федерального закона № 392-ФЗ направлено на необходимость поддержки экономически отстающих субъектов РФ [5]. Формально федеральный закон содержит общие указания на то, что ЗТР должны содействовать устранению диспропорций в развитии регионов путем формирования благоприятных условий для привлечения инвестиций в экономику территорий. При этом, как справедливо указывается в работе [4], федеральный закон № 392-ФЗ не содержит достаточного набора стимулирующих инструментов, характерных именно для развития инновационной экономики (речь, в частности, идет о таком элементе региональной инновационной системы как малое и среднее предпринимательство).

Нормативно-правовую базу, регулирующую процессы создания и функционирования ЗТР, наряду с федеральным законом № 392-ФЗ составляют следующие документы:

- постановление Правительства Российской Федерации от 13.02.2013 № 115 «Об установлении предельных значений показателей, методик их расчета и порядка применения в целях утверждения перечня субъектов РФ, на территории которых допускается создание зон территориального развития (далее – постановление № 115);

- постановление Правительства Российской Федерации от 10.04.2013 № 326 «Об утверждении перечня субъектов РФ, на территориях которых допускается создание зон территориального развития» (далее – постановление № 326 (утратило силу в связи с принятием постановления от 21.12.2016 № 1415);

- постановление Правительства Российской Федерации от 21.12.2016 № 1415 «Об утверждении перечня субъектов РФ, на территориях которых допускается создание зон территориального развития» (далее – постановление № 1415).

Механизм государственного регулирования функционирования ЗТР описан в федеральном законе № 392-ФЗ и постановлении № 115. Специфической особенностью является отсутствие соглашения между администрацией ЗТР и резидентами ЗТР о ведении соответствующего вида предпринимательской деятельности в пределах ЗТР. Условием получения государственной поддержки является обращение резидентов ЗТР в администрацию ЗТР, которая, в свою очередь, определяет перечень сведений, необходимых для подачи заявок, формирует перечень заявок и устанавливает критерии и очередность их удовлетворения с учетом стратегии развития субъекта РФ на долгосрочную перспективу. И уже потом администрация ЗТР направляет обобщенные заявки в уполномоченный федеральный орган, который, в свою очередь, представляет эти сведения главным распорядителям бюджетных средств в целях внесения предложений о планировании соответствующих расходов федерального бюджета, составлении обоснований бюджетных ассигнований.

Порядок, предусмотренный федеральным законом № 392-ФЗ в части финансирования резидентов ЗТР, предопределяет принципиальное различие в объемах государственной поддержки резидентов ЗТР в сравнении с резидентами особых и экономических зон (ОЭЗ). Так, соглашение, заключаемое с резидентами ОЭЗ в обязательном порядке, обеспечивает финансирование их предпринимательской деятельности. В то время как резидентам ЗТР удовлетворяется только то количество заявок, которое может быть обеспечено текущими бюджетными ассигнованиями.

Перечень субъектов РФ, на территориях которых допускается создание ЗТР (далее – Перечень), охватывает 20 регионов. В 2013 г. постановлением № 1415 в Перечень, утвержденный постановлением № 326, были внесены изменения, связанные с исключением из его первоначального состава двух субъектов РФ Дальневосточного федерального округа (Камчатский край и Амурская область). При этом в Перечень вошли Мурманская область (Северо-Западный федеральный округ) и Кировская область (Приволжский федеральный округ).

Характерно, что с момента принятия федерального закона № 392-ФЗ, ни в одном из субъектов РФ, вошедших в первоначальный Перечень, ЗТР не были созданы, несмотря на возможность получения государственной поддержки в соответствии с нормами этого федерального закона. В силу такого положения рассмотрим ситуацию с инновационной актив-

ностью в субъектах РФ, включенных в Перечень, чтобы понять могут ли стать ЗТР «локомотивами» инновационного развития.

Ниже представлен анализ состояния инновационной деятельности в субъектах РФ, в которых предусмотрено создание ЗТР, в разрезе двух периодов: 2010–2012 гг. и 2013–2015 гг.

#### **Активность в инновационной сфере**

Общая картина инновационной активности субъектов РФ, включенных в Перечень, характеризуется полярностью их инновационного развития. Данные официальной государственной статистики [6] позволяют выделить регионы как с положительной, так и отрицательной динамикой развития (таблица 1). К примеру, за период 2010–2012 гг. рост уровня инновационной активности организаций (определяемый как удельный вес инновационно-активных организаций, осуществляющих инновации, в общем числе организаций) характерен для организаций Республики Карелия (в 1,6 раза или на 4,3 процентных пункта), Республики Алтай (в 2,8 раза), Приморского края (в 1,5 раза) и др.

Снижение уровня активности в инновационной сфере за период 2010–2012 гг. отмечалось почти в 1,5 раза в Карачаево-Черкесской Республике, в 2,8 раза в Республике Тыва.

В период 2013–2015 гг., как показывают данные, представленные в таблице 1, картина инновационного развития субъектов РФ, входящих в Перечень, определялась снижением инновационной активности в ряде ранее устойчивых регионов. К примеру, в Ивановской области удельный вес организаций, осуществляющих все виды инноваций, уменьшился с 8,4% до 4,4%, в Республике Алтай с 19,4% до 10,9%.

В целом же достигнутый уровень инновационной активности организаций промышленности и сферы услуг в большинстве субъектов РФ, включенных в Перечень, был ниже среднего значения этого показателя, сложившегося соответствующих федеральных округах.

#### **Активность в сфере технологических инноваций**

Отражением отсутствия необходимых стимулов к развитию инновационной деятельности в ряде субъектов РФ, входящих в Перечень, являются значения показателя удельного веса организаций, осуществлявших технологические инновации (табл. 2). Именно этот показатель дает представление об активности в сфере технологических инноваций, характеризуя, тем самым, потенциал инновационного развития и технологической модернизации экономики регионов.

Оценить сложившуюся ситуацию в части активности в сфере технологических инноваций позволяют данные, представленные в табл. 2.

Так, в Ивановской области краткосрочный эффект активности в сфере технологических инноваций пришелся на период 2012–2013 гг. и сменился падением в 2014–2015 гг. (с 7,1–7,5% до 3,5%). Аналогичная тенденция характерна и для Республики Алтай (с 18,5% до 10,9%). При этом следует отметить, что в Республике Алтай величина показателя удельного веса организаций, осуществлявших технологические инновации, превышала не только средний по Сибирскому федеральному округу уровень, но и среднероссийский. В Магаданской области инновационная активность по осуществлению технологических инноваций уменьшилась с 26,5% в 2010 г. до 11,4% в 2015 г.

#### **Затраты на технологические инновации**

Практически во всех субъектах РФ, включенных в Перечень, интенсивность затрат на технологические инновации остается низкой (табл. 3). Тенденция к снижению этого показателя на всем протяжении периода 2010–2015 гг. характерна для Ивановской области (с 3,6% до 0,3%), Республики Карелия (с 2,6% до 0,1%), Республики Адыгея (с 1,3% до 0,2%) и др.

Сравнение данных, приведенных в табл. 3 в разрезе регионов, показывает, что на протяжении ряда лет наилучший результат по этому показателю был получен в Республике Алтай. Существенную роль в этом сыграло активное участие организаций региона в кластерных инициативах, реализуемых Правительством данного субъекта РФ.

Таблица 1

**Инновационная активность организаций, осуществляющих все виды инноваций,  
в субъектах РФ, в которых допущено создание ЗТР (в процентах)**

|                                                                | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|----------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Российская Федерация                                           | 9,5  | 10,4 | 10,3 | 10,1 | 9,9  | 9,3  |
| в том числе федеральные округа и субъекты Российской Федерации |      |      |      |      |      |      |
| Центральный                                                    | 8,6  | 10,2 | 10,9 | 10,7 | 10,9 | 10,0 |
| Ивановская область                                             | 5,8  | 5,1  | 8,5  | 8,4  | 6,3  | 4,4  |
| Северо-Западный                                                | 9,4  | 11,2 | 11,0 | 10,7 | 10,3 | 9,6  |
| Республика Карелия                                             | 6,6  | 9,2  | 10,9 | 8,1  | 7,7  | 9,6  |
| Мурманская область                                             | 9,7  | 8,5  | 9,0  | 13,5 | 10,2 | 9,4  |
| Северо-Кавказский                                              | 6,2  | 5,2  | 6,4  | 5,9  | 6,5  | 4,7  |
| Республика Дагестан                                            | 6,7  | 2,9  | 6,5  | 10,3 | 12,2 | 7,3  |
| Республика Ингушетия                                           | —    | 5,9  | —    | —    | 20,0 | 5,6  |
| Кабардино-Балкарская Республика                                | 8,3  | 9,9  | 9,4  | 9,3  | 6,7  | 2,5  |
| Карачаево-Черкесская Республика                                | 4,3  | 4,3  | 2,8  | 2,7  | 3,6  | 3,1  |
| Республика Северная Осетия — Алания                            | 7,7  | 5,4  | 4,5  | 5,3  | 6,6  | 3,8  |
| Чеченская Республика                                           | 0,8  | 0,8  | —    | —    | 0,5  | 1,6  |
| Южный                                                          | 7,5  | 6,5  | 7,4  | 7,2  | 7,7  | 7,8  |
| Республика Адыгея                                              | 10,0 | 9,7  | 6,8  | 10,4 | 8,5  | 7,9  |
| Республика Калмыкия                                            | —    | 1,1  | 1,2  | 4,8  | 2,4  | 2,4  |
| Приволжский                                                    | 12,3 | 12,7 | 11,9 | 11,4 | 11,7 | 10,6 |
| Кировская область                                              | 7,4  | 8,5  | 8,7  | 9,1  | 9,4  | 9,8  |
| Уральский                                                      | 11,5 | 11,5 | 10,6 | 9,6  | 8,9  | 7,9  |
| Курганская область                                             | 12,4 | 13,1 | 9,2  | 8,3  | 5,5  | 4,2  |
| Сибирский                                                      | 8,2  | 8,8  | 8,5  | 9,1  | 8,8  | 8,0  |
| Республика Алтай                                               | 6,5  | 22,1 | 18,5 | 19,4 | 10,7 | 10,9 |
| Республика Бурятия                                             | 11,0 | 11,8 | 10,2 | 6,7  | 8,5  | 4,8  |
| Республика Тыва                                                | 13,0 | 6,8  | 4,5  | 3,3  | 1,8  | 4,9  |
| Забайкальский край                                             | 6,7  | 4,0  | 2,3  | 2,2  | 5,3  | 6,1  |
| Дальневосточный                                                | 8,6  | 11,2 | 10,8 | 9,5  | 8,9  | 7,2  |
| Приморский край                                                | 7,9  | 11,5 | 11,7 | 9,4  | 9,3  | 6,1  |
| Магаданская область                                            | 34,3 | 33,6 | 24,6 | 24,6 | 15,1 | 14,3 |
| Еврейская автономная область                                   | 10,5 | 5,0  | 9,0  | 6,3  | 6,3  | 5,3  |

Что касается других субъектов РФ, включенных в Перечень, то достигнутые в 2015 г. значения показателя удельного веса затрат на технологические инновации оставались на существенно низком уровне по сравнению не только с Российской Федерацией в целом, но и с соответствующими федеральными округами (табл. 3).

Структура затрат на технологические инновации субъектов РФ, включенных в Перечень, по видам инновационной деятельности в большинстве регионов отличается существенными диспропорциями (рис. 1). В 2015 г. в большинстве субъектов РФ существенная доля средств, направляемых на технологические инновации, расходовались на приобретение машин и оборудования. Так, к примеру, в Республике Дагестан величина этого показателя составила 89,7%, в Республике Северная Осетия-Алания — 50,7%, в Республике Тыва — 63,5%,

Курганской области – 63,4%. Приобретение овеществленных технологий (машин и оборудования) оправданно самой логикой инновационной деятельности, проявляющейся, как правило, в необходимости обновления производственного аппарата. Однако такая позиция не способствует долгосрочным инвестициям в неовеществленные технологии (исследования и разработки, патенты, программные средства).

Таблица 2

**Удельный вес организаций, осуществлявших технологические инновации, в субъектах РФ, в которых допущено создание ЗТР (в процентах)**

|                                                                | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|----------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Российская Федерация                                           | 7,9  | 8,9  | 9,1  | 8,9  | 8,8  | 8,3  |
| в том числе федеральные округа и субъекты Российской Федерации |      |      |      |      |      |      |
| Центральный                                                    | 7,3  | 8,8  | 9,7  | 9,6  | 9,8  | 9,8  |
| Ивановская область                                             | 5,5  | 4,5  | 7,1  | 7,5  | 5,2  | 3,5  |
| Северо-Западный                                                | 7,6  | 9,5  | 9,5  | 9,2  | 8,9  | 8,1  |
| Республика Карелия                                             | 5,1  | 8,1  | 9,8  | 5,2  | 6,0  | 5,3  |
| Мурманская область                                             | 6,4  | 5,9  | 6,6  | 9,9  | 8,2  | 7,8  |
| Северо-Кавказский                                              | 5,0  | 4,2  | 5,6  | 5,3  | 5,8  | 4,4  |
| Республика Дагестан                                            | 3,8  | 1,0  | 4,3  | 5,7  | 8,5  | 6,1  |
| Республика Ингушетия                                           | —    | —    | —    | —    | 20,0 | 5,6  |
| Кабардино-Балкарская Республика                                | 6,6  | 8,1  | 8,5  | 9,3  | 6,7  | 2,5  |
| Карачаево-Черкесская Республика                                | 3,2  | 3,5  | 2,8  | 1,8  | 2,7  | 2,0  |
| Республика Северная Осетия – Алания                            | 6,5  | 4,7  | 4,5  | 5,3  | 5,9  | 3,8  |
| Чеченская Республика                                           | —    | —    | —    | —    | 0,5  | 1,6  |
| Южный                                                          | 6,2  | 5,3  | 6,3  | 6,2  | 6,6  | 6,9  |
| Республика Адыгея                                              | 7,1  | 5,6  | 6,8  | 7,8  | 5,6  | 5,3  |
| Республика Калмыкия                                            | —    | 1,1  | 1,2  | 4,8  | 2,4  | 2,4  |
| Приволжский                                                    | 10,2 | 11,2 | 10,8 | 10,4 | 10,4 | 9,5  |
| Кировская область                                              | 5,6  | 7,0  | 7,0  | 7,6  | 8,3  | 8,3  |
| Уральский                                                      | 9,6  | 9,8  | 9,0  | 8,0  | 7,1  | 6,7  |
| Курганская область                                             | 12,0 | 12,0 | 8,9  | 6,5  | 4,4  | 4,0  |
| Сибирский                                                      | 6,8  | 7,6  | 7,7  | 8,2  | 7,9  | 7,2  |
| Республика Алтай                                               | 6,5  | 21,2 | 18,5 | 18,5 | 10,7 | 10,9 |
| Республика Бурятия                                             | 6,8  | 8,1  | 8,8  | 6,2  | 8,1  | 3,3  |
| Республика Тыва                                                | 11,6 | 5,5  | 4,5  | 3,3  | 1,8  | 4,1  |
| Забайкальский край                                             | 5,7  | 3,7  | 2,3  | 2,2  | 3,7  | 4,1  |
| Дальневосточный                                                | 7,0  | 9,6  | 9,6  | 8,3  | 7,9  | 6,5  |
| Приморский край                                                | 6,4  | 10,5 | 10,6 | 8,5  | 7,7  | 5,6  |
| Магаданская область                                            | 26,5 | 25,5 | 19,6 | 19,6 | 12,0 | 11,4 |
| Еврейская автономная область                                   | 5,3  | 5,0  | 6,4  | 5,1  | 6,3  | 5,3  |

Только в ряде субъектов РФ преобладающим видом расходов на технологические инновации, как следует из данных, представленных на рис. 1, являлись расходы на исследования и разработки. Их доля в 2015 г. в структуре затрат на технологические инновации составила в Магаданской области 83,4%, в Республике Карелия 70,6%, в Чеченской Республике 71,5% при средней величине по Российской Федерации в целом 44,4%



Таблица 3

**Удельный вес затрат на технологические инновации в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг, в субъектах РФ, в которых допущено создание ЗТР (в процентах)**

|                                                                | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|----------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Российская Федерация                                           | 1,6  | 2,2  | 2,5  | 2,9  | 2,9  | 2,6  |
| в том числе федеральные округа и субъекты Российской Федерации |      |      |      |      |      |      |
| Центральный                                                    | 1,5  | 3,2  | 3,3  | 3,0  | 3,3  | 3,5  |
| Ивановская область                                             | 3,6  | 1,0  | 0,9  | 0,4  | 0,3  | 0,3  |
| Северо-Западный                                                | 1,2  | 2,1  | 2,0  | 3,7  | 2,1  | 1,5  |
| Республика Карелия                                             | 2,6  | 0,9  | 0,4  | 0,2  | 0,1  | 0,1  |
| Мурманская область                                             | 1,5  | 0,4  | 0,4  | 0,8  | 1,0  | 0,5  |
| Северо-Кавказский                                              | 2,0  | 0,6  | 0,8  | 1,5  | 2,7  | 1,3  |
| Республика Дагестан                                            | 0,2  | 0,1  | 0,1  | 0,5  | 2,7  | 0,2  |
| Республика Ингушетия                                           | —    | —    | —    | —    | 2,0  | 0,0  |
| Кабардино-Балкарская Республика                                | 0,8  | 1,1  | 1,3  | 2,3  | 0,7  | 0,0  |
| Карачаево-Черкесская Республика                                | 0,6  | 0,7  | 0,6  | 0,4  | 0,2  | 0,7  |
| Республика Северная Осетия - Алания                            | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,6  | 0,8  | 0,1  |
| Чеченская Республика                                           | —    | —    | —    | —    | 1,7  | 0,2  |
| Южный                                                          | 0,8  | 0,9  | 2,2  | 2,2  | 3,1  | 2,8  |
| Республика Адыгея                                              | 1,3  | 0,6  | 2,9  | 0,6  | 0,5  | 0,2  |
| Республика Калмыкия                                            | —    | 0,2  | 1,2  | 0,2  | 0,4  | 0,1  |
| Приволжский                                                    | 1,5  | 2,4  | 3,3  | 3,6  | 3,9  | 3,2  |
| Кировская область                                              | 0,8  | 1,5  | 2,2  | 2,1  | 1,7  | 1,9  |
| Уральский                                                      | 1,8  | 1,6  | 1,5  | 1,8  | 1,7  | 1,5  |
| Курганская область                                             | 1,0  | 1,6  | 1,4  | 1,0  | 0,8  | 0,7  |
| Сибирский                                                      | 1,6  | 1,6  | 1,9  | 2,9  | 2,8  | 2,5  |
| Республика Алтай                                               | 1,4  | 1,9  | 2,9  | 0,5  | 9,3  | 3,5  |
| Республика Бурятия                                             | 0,7  | 1,4  | 1,5  | 1,0  | 0,9  | 0,7  |
| Республика Тыва                                                | 1,2  | 0,1  | 0,1  | 0,3  | -    | 0,0  |
| Забайкальский край                                             | 0,8  | 0,7  | 0,4  | 0,5  | 0,9  | 1,6  |
| Дальневосточный                                                | 2,2  | 2,1  | 2,8  | 2,8  | 3,1  | 3,3  |
| Приморский край                                                | 0,6  | 1,3  | 4,1  | 3,4  | 0,8  | 0,4  |
| Магаданская область                                            | 3,0  | 1,2  | 0,8  | 0,5  | 0,4  | 1,1  |
| Еврейская автономная область                                   | 1,5  | 7,2  | 1,8  | 4,1  | 0,9  | 0,8  |

### **Производство инновационной продукции**

Соответствующее отношение в субъектах РФ к инновациям как фактору модернизации экономики, безусловно, находит отражение в полученных результатах инновационной деятельности региональных промышленных организаций, включая показатель доли инновационных товаров, работ и услуг в общем объеме продаж инновационно-активных предприятий (табл. 4).

Так, в Республике Дагестан (где, как отмечено выше, в 2015 г. была высокой доля затрат в овеществленные технологии), величина доли инновационной продукции в общем объеме продаж инновационно-активных организаций составила 0,6% (0,2% в 2013 г.), в Курганской области — 3,7% (3,9% в 2013 г.).

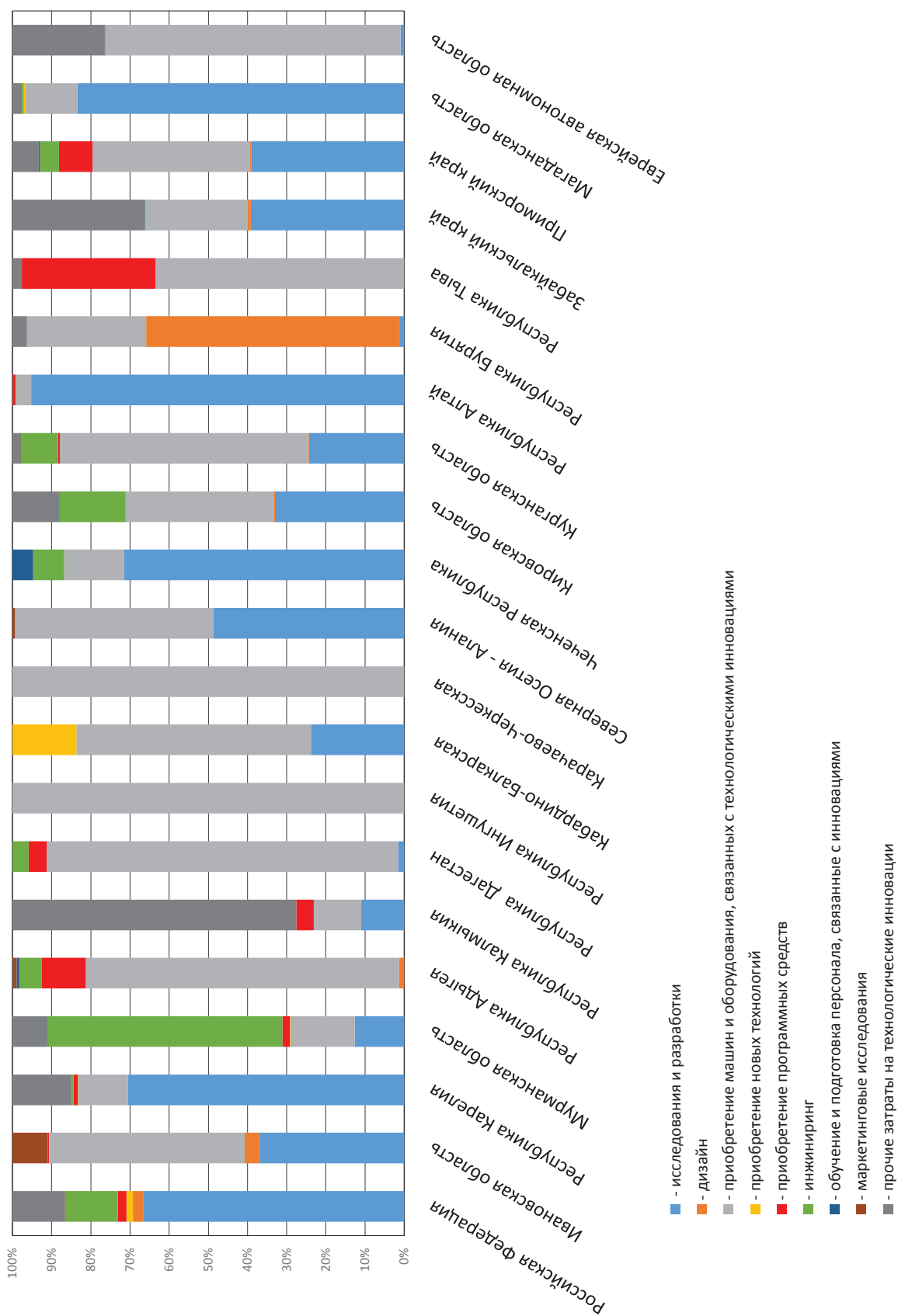


Рис. 1. Структура затрат на технологические инновации по видам инновационной деятельности субъектов РФ, в которых допущено создание ЗТР, в 2015 г.

Таблица 4

**Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг, организаций промышленного производства субъектов РФ, в которых допущено создание ЗТР (в процентах)**

|                                                                | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|----------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Российская Федерация                                           | 4,9  | 6,1  | 7,8  | 8,9  | 8,2  | 7,9  |
| в том числе федеральные округа и субъекты Российской Федерации |      |      |      |      |      |      |
| Центральный                                                    | 4,2  | 4,8  | 10,2 | 11,1 | 8,4  | 12,0 |
| Ивановская область                                             | 1,7  | 3,3  | 0,6  | 0,5  | 1,0  | 1,5  |
| Северо-Западный                                                | 4,3  | 4,8  | 6,9  | 8,9  | 7,8  | 6,0  |
| Республика Карелия                                             | 1,0  | 0,0  | 0,2  | 0,1  | 0,1  | 0,1  |
| Мурманская область                                             | 0,4  | 0,0  | 0,1  | 0,3  | 2,4  | 1,6  |
| Северо-Кавказский                                              | 7,8  | 10,3 | 9,0  | 7,5  | 8,7  | 9,8  |
| Республика Дагестан                                            | 0,6  | 0,4  | 0,7  | 0,2  | 1,1  | 0,6  |
| Республика Ингушетия                                           | —    | —    | 2,5  | —    | 0,0  | —    |
| Кабардино-Балкарская Республика                                | 7,2  | 7,8  | 3,3  | 4,0  | 2,6  | 3,3  |
| Карачаево-Черкесская Республика                                | 11,5 | 25,6 | 4,4  | 0,4  | —    | —    |
| Республика Северная Осетия — Алания                            | 0,3  | 0,2  | 0,1  | —    | —    | —    |
| Чеченская Республика                                           | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Южный                                                          | 6,9  | 3,5  | 2,7  | 3,2  | 4,2  | 5,3  |
| Республика Адыгея                                              | 10,1 | 7,4  | 10,8 | 11,2 | 10,2 | 11,3 |
| Республика Калмыкия                                            | —    | —    | —    | —    | 0,0  | 0,0  |
| Приволжский                                                    | 10,5 | 11,3 | 12,9 | 14,2 | 13,6 | 12,7 |
| Кировская область                                              | 6,9  | 7,5  | 7,7  | 7,2  | 7,5  | 4,9  |
| Уральский                                                      | 2,2  | 2,5  | 1,8  | 2,5  | 2,1  | 2,7  |
| Курганская область                                             | 3,9  | 2,8  | 3,2  | 3,7  | 2,6  | 3,7  |
| Сибирский                                                      | 1,5  | 2,1  | 2,0  | 2,9  | 3,0  | 3,7  |
| Республика Алтай                                               | 3,8  | —    | —    | —    | —    | —    |
| Республика Бурятия                                             | 0,2  | 5,2  | 6,3  | 6,5  | 11,5 | 1,8  |
| Республика Тыва                                                | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| Забайкальский край                                             | 0,6  | 23,9 | 16,7 | 7,4  | 8,6  | 10,6 |
| Дальневосточный                                                | 1,2  | 21,7 | 24,3 | 25,0 | 26,7 | 7,3  |
| Приморский край                                                | 2,8  | 0,6  | 0,8  | 0,1  | 0,2  | 0,1  |
| Магаданская область                                            | 2,7  | 2,2  | 9,1  | 9,3  | —    | 10,9 |
| Еврейская автономная область                                   | —    | —    | —    | —    | —    | 0,6  |

В Магаданской области, в которой затраты на исследования и разработки в 2015 г. составили более 70,0% общего объема затрат на технологические инновации, доля инновационной продукции в общем объеме продаж инновационно-активных организаций достигла 10,9%.

Аналогичная ситуация характерна и для Забайкальского края, где на долю затрат на исследования и разработки в 2015 г. приходилось 39,2%. Здесь удельный вес инновационной продукции в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг организациями промышленного производства составил 10,6%.

Положительный тренд результативности инновационной деятельности промышленных организаций отмечается в Республике Адыгея. В этой республике доля инновационной про-

дукции в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг организациями промышленного производства в 2010–2015 гг. составляла 7,4–11,3% (табл. 4).

За последние пять лет самая низкая величина доли инновационной продукции в общем объеме отгруженных товаров, работ и услуг составила 0,1% (в Республике Карелия в 2013–2015 гг.). Ее падение отмечалось в Приморском крае: с 2,8% в 2010 г. до 0,1% в 2015 г., в Кабардино-Балкарской Республике: с 7,2% до 3,3% соответственно (табл. 4).

Неоднозначная ситуация, связанная с производством инновационной продукции, складывалась в сфере услуг субъектов РФ, в которых допущено создание ЗТР. В 2010–2015 гг. в большинстве этих регионов доля инновационных товаров, работ и услуг в общем объеме отгруженных товаров, работ и услуг организаций сферы услуг постоянно снижалась (табл. 5). Наиболее значительное падение объемов производства отмечалось в Магаданской области (с 33,7% в 2010 г. до 8,0% в 2015 г.).

Таблица 5

**Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг организаций сферы услуг по субъектам РФ, в которых допущено создание ЗТР**

|                                                                | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|----------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Российская Федерация                                           | 4,0  | 8,3  | 9,6  | 11,2 | 12,8 | 12,9 |
| в том числе федеральные округа и субъекты Российской Федерации |      |      |      |      |      |      |
| Центральный                                                    | 4,7  | 9,2  | 10,4 | 12,9 | 15,4 | 16,3 |
| Ивановская область                                             | 32,4 | 0,1  | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,8  |
| Северо-Западный                                                | 2,3  | 9,5  | 10,5 | 13,1 | 10,8 | 8,9  |
| Республика Карелия                                             | 6,5  | 5,8  | 2,4  | 1,4  | 1,6  | 1,3  |
| Мурманская область                                             | 0,9  | 1,6  | 0,8  | 7,0  | 13,1 | 2,8  |
| Северо-Кавказский                                              | 13,4 | 0,9  | 0,8  | 0,5  | 1,2  | 1,9  |
| Республика Дагестан                                            | 27,5 | —    | 1,3  | —    | 0,0  | 0,6  |
| Республика Ингушетия                                           | 0,1  | 0,7  | 0,4  | —    | 0,3  | 0,3  |
| Кабардино-Балкарская Республика                                | 8,8  | 0,2  | 0,5  | 0,5  | 1,1  | 8,3  |
| Карачаево-Черкесская Республика                                | 17,2 | 7,5  | 0,8  | 0,2  | 0,7  | 1,5  |
| Республика Северная Осетия — Алания                            | 6,4  | 0,8  | 0,6  | 0,2  | 0,3  | 0,6  |
| Чеченская Республика                                           | 29,0 | 1,3  | 0,1  | —    | 22,3 | 2,8  |
| Южный                                                          | 2,7  | 5,8  | 5,6  | 5,4  | 10,0 | 12,5 |
| Республика Адыгея                                              | 0,1  | 0,3  | 0,6  | 0,1  | 0,5  | 1,3  |
| Республика Калмыкия                                            | —    | —    | 2,1  | 0,3  | 0,4  | 1,9  |
| Приволжский                                                    | 5,2  | 10,7 | 11,2 | 13,6 | 16,8 | 16,5 |
| Кировская область                                              | 3,6  | 2,8  | 1,5  | 1,9  | 0,9  | 2,3  |
| Уральский                                                      | 0,8  | 7,9  | 6,8  | 5,9  | 6,5  | 3,6  |
| Курганская область                                             | 1,2  | 6,6  | 1,5  | 5,9  | 2,5  | 1,6  |
| Сибирский                                                      | 2,6  | 3,3  | 10,0 | 9,1  | 8,7  | 10,0 |
| Республика Алтай                                               | 0,2  | 20,8 | 0,2  | 0,3  | 0,7  | 0,7  |
| Республика Бурятия                                             | 0,0  | 0,1  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 1,8  |
| Республика Тыва                                                | 6,9  | 0,6  | 0,0  | —    | 0,1  | 1,3  |
| Забайкальский край                                             | 1,4  | 0,0  | 0,0  | 0,2  | 2,5  | 2,8  |
| Дальневосточный                                                | 4,4  | 4,0  | 4,0  | 5,4  | 1,6  | 1,8  |
| Приморский край                                                | 7,3  | 6,3  | 6,5  | 7,0  | 1,4  | 2,4  |
| Магаданская область                                            | 33,7 | 14,2 | 12,1 | 16,9 | 0,6  | 8,0  |
| Еврейская автономная область                                   | 0,5  | —    | 0,0  | —    | 3,0  | 3,4  |

Даже в тех регионах, где величина этого показателя росла, его значения были существенно ниже среднероссийского уровня. При этом значительный рост доли инновационной продукции в общем объеме отгруженных товаров, работ и услуг сферы услуг в Кабардино-Балкарской Республике (с 0,2% в 2011 г. до 8,3% в 2015 г.) является следствием низкой исходной учетной базы (табл. 5).

### **Патентная активность**

Значительное место в инновационной деятельности субъектов РФ занимает выбор адекватных методов поддержки и повышения конкурентоспособности инноваций с использованием различных способов защиты научно-технических решений. Одним из таких способов является патентование изобретений, промышленных изделий и полезных моделей.

Сопоставление информации за два года (2010 г. и 2015 г.) свидетельствует о снижении почти в два раза общей патентной активности субъектов РФ, в которых допущено создание ЗТР, (табл. 6). Данные, представленные в разрезе этих лет, позволяют выделить регионы с наиболее высокой интенсивностью потока заявок на патентование. К примеру, в 2010 г. в их число вошли Республика Дагестан (1446 заявок), Ивановская область (709 заявок), Приморский край (272 заявки). При этом в 2015 г. в этих регионах сложилась иная ситуация: в Республике Дагестан патентная активность снизилась в 11,5 раза (до 126), почти в 2 раза в Ивановской области. Напротив, в Приморском крае число заявок на патенты в 2015 г. по сравнению с 2010 г. увеличилось на 11% (табл. 6).

Приведенные в таблице 6 данные о выдаче патентов свидетельствуют об отсутствии такого высокого спада, как отмечалось в отношении подачи патентных заявок: в 2015 г. по сравнению с 2010 г. количество выданных патентов уменьшилось только на 4,9%.

Структура поступления патентных заявок и выдачи охранных документов по субъектам РФ, в которых допущено создание ЗТР, аналогична с общероссийской структурой. Во всех случаях в патентовании изобретений, полезных моделей и промышленных образцов основная доля приходится на изобретения (табл. 7).

В 2015 г. на фоне общего снижения патентной активности в субъектах РФ, в которых допущено создание ЗТР, возросло количество патентных заявок на полезные модели и промышленные образцы, изменив тем самым пропорции в структуре поданных патентных заявок в стороны этих видов охранных документов (табл. 6 и 7).

Выполненный анализ показателей инновационного развития субъектов РФ, в которых допущено создание ЗТР, отражает наличие в них потенциала, который может обеспечить создание «точек» инновационного развития. В таком случае ЗТР могут стать реальным инструментом региональной инновационной политики, способствующим территориально-производственному саморазвитию. При этом следует подчеркнуть, что эффективность ЗТР может быть достигнута при соблюдении следующих условий:

- позиционирование института ЗТР в общей стратегии государственной региональной инновационной политики, предполагающее разработку и применение принципов локализации этой категории зон;
- создание в регионах специальных институтов генерирования, продвижения и финансирования инноваций, включая соответствующую систему малого и среднего инновационного предпринимательства;
- обеспечение интеграции резидентов ЗТР в инновационные комплексы экономики регионов.

В настоящее время ЗТР не заняли целевой «ниши» в системе инструментов регионального инновационного развития. Сложившуюся ситуацию, в частности, можно объяснить отсутствием на уровне субъекта РФ детальной проработки вопроса по их созданию и функционированию во взаимосвязи с имеющейся инновационной инфраструктурой. Региональная инновационная инфраструктура, как правило, представлена различными объектами (индустриальные парки, промышленные парки, бизнес-инкубаторы и прочие), которые по своей сути яв-



Поступление патентных заявок и выдача охранных документов по субъектам Российской Федерации, в которых допущено создание ЗТР (2010 г. и 2015 г.)

| 2010                                                            |                                 |                    |                         |       |                         |                    |                         | 2015  |                                 |                    |                         |       |                         |                    |                         |       |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------------|-------------------------|-------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------------|-------------------------|-------|
|                                                                 | Подано патентных заявок, единиц |                    |                         |       | Выдано патентов, единиц |                    |                         |       | Подано патентных заявок, единиц |                    |                         |       | Выдано патентов, единиц |                    |                         |       |
|                                                                 | на изобретения                  | на полезные модели | на промышленные образцы | Всего | на изобретения          | на полезные модели | на промышленные образцы | Всего | на изобретения                  | на полезные модели | на промышленные образцы | Всего | на изобретения          | на полезные модели | на промышленные образцы | Всего |
| Российская Федерация                                            | 28722                           | 11757              | 1981                    | 42460 | 21627                   | 10187              | 1741                    | 33555 | 29269                           | 11403              | 2015                    | 42687 | 22560                   | 8390               | 2031                    | 32981 |
| в том числе федеральные округа и субъекты Российской Федерации: |                                 |                    |                         |       |                         |                    |                         |       |                                 |                    |                         |       |                         |                    |                         |       |
| Центральный                                                     | 14628                           | 4943               | 948                     | 20519 | 10984                   | 4312               | 803                     | 16099 | 16886                           | 4556               | 1040                    | 22482 | 10554                   | 3227               | 959                     | 14740 |
| Ивановская область                                              | 658                             | 51                 | 0                       | 709   | 455                     | 49                 | 1                       | 505   | 310                             | 34                 | 12                      | 356   | 288                     | 35                 | 1                       | 324   |
| Северо-Западный                                                 | 2259                            | 1220               | 217                     | 3696  | 1656                    | 1027               | 188                     | 2871  | 2258                            | 1410               | 182                     | 3850  | 1922                    | 1058               | 201                     | 3181  |
| Республика Карелия                                              | 23                              | 16                 | 1                       | 40    | 15                      | 11                 | 3                       | 29    | 32                              | 49                 | 0                       | 81    | 22                      | 31                 | 0                       | 53    |
| Мурманская область                                              | 39                              | 20                 | 2                       | 61    | 35                      | 24                 | 0                       | 59    | 36                              | 17                 | 2                       | 55    | 32                      | 19                 | 1                       | 52    |
| Южный                                                           | 1661                            | 667                | 70                      | 2398  | 1352                    | 565                | 45                      | 1962  | 1648                            | 717                | 118                     | 2483  | 1422                    | 510                | 80                      | 2012  |
| Республика Адыгея                                               | 6                               | 1                  | 0                       | 7     | 7                       | 2                  | 0                       | 9     | 5                               | 11                 | 20                      | 36    | 1                       | 4                  | 0                       | 5     |
| Республика Калмыкия                                             | 0                               | 1                  | 0                       | 1     | 1                       | 0                  | 0                       | 1     | 45                              | 3                  | 0                       | 48    | 22                      | 1                  | 0                       | 23    |
| Северо-Кавказский                                               | 1900                            | 122                | 30                      | 2052  | 600                     | 122                | 99                      | 821   | 477                             | 157                | 41                      | 675   | 621                     | 121                | 32                      | 774   |
| Республика Дагестан                                             | 1418                            | 28                 | 0                       | 1446  | 237                     | 26                 | 2                       | 265   | 104                             | 14                 | 8                       | 126   | 217                     | 14                 | 1                       | 232   |
| Республика Ингушетия                                            | 0                               | 1                  | 0                       | 1     | 1                       | 1                  | 0                       | 2     | 0                               | 2                  | 0                       | 2     | 1                       | 0                  | 0                       | 1     |
| Кабардино-Балкарская Республика                                 | 71                              | 7                  | 3                       | 81    | 46                      | 4                  | 2                       | 52    | 73                              | 17                 | 9                       | 99    | 91                      | 7                  | 3                       | 101   |
| Карачаево-Черкесская Республика                                 | 3                               | 5                  | 1                       | 9     | 10                      | 8                  | 0                       | 18    | 5                               | 4                  | 1                       | 10    | 13                      | 7                  | 1                       | 21    |

| 2010                                |                                 |                    |                         |       |                         |                    |                         |       |                                 | 2015               |                         |       |                         |                    |                         |       |  |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------------|-------------------------|-------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|-------|-------------------------|--------------------|-------------------------|-------|--|
|                                     | Подано патентных заявок, единиц |                    |                         |       | Выдано патентов, единиц |                    |                         |       | Подано патентных заявок, единиц |                    |                         |       | Выдано патентов, единиц |                    |                         |       |  |
|                                     | на изобретения                  | на полезные модели | на промышленные образцы | Всего | на изобретения          | на полезные модели | на промышленные образцы | Всего | на изобретения                  | на полезные модели | на промышленные образцы | Всего | на изобретения          | на полезные модели | на промышленные образцы | Всего |  |
| Республика Северная Осетия – Алания | 109                             | 13                 | 11                      | 133   | 75                      | 19                 | 71                      | 165   | 92                              | 41                 | 1                       | 134   | 112                     | 28                 | 5                       | 145   |  |
| Чеченская Республика                | 29                              | 5                  | 0                       | 34    | 6                       | 2                  | 0                       | 8     | 36                              | 13                 | 0                       | 49    | 20                      | 7                  | 1                       | 28    |  |
| Приволжский                         | 4138                            | 2496               | 467                     | 7101  | 3334                    | 2240               | 348                     | 5922  | 3947                            | 2243               | 295                     | 6485  | 4014                    | 1666               | 442                     | 6122  |  |
| Кировская область                   | 79                              | 97                 | 17                      | 193   | 74                      | 62                 | 16                      | 152   | 100                             | 71                 | 7                       | 178   | 87                      | 50                 | 17                      | 154   |  |
| Уральский                           | 1157                            | 963                | 103                     | 2223  | 1190                    | 805                | 110                     | 2105  | 1148                            | 878                | 124                     | 2150  | 1097                    | 647                | 157                     | 1901  |  |
| Курганская область                  | 82                              | 43                 | 1                       | 126   | 51                      | 27                 | 2                       | 80    | 56                              | 42                 | 3                       | 101   | 40                      | 27                 | 1                       | 68    |  |
| Сибирский                           | 2414                            | 1146               | 126                     | 3686  | 2090                    | 967                | 136                     | 3193  | 2216                            | 1055               | 160                     | 3431  | 2195                    | 803                | 133                     | 3131  |  |
| Республика Алтай                    | 0                               | 3                  | 0                       | 3     | 2                       | 5                  | 1                       | 8     | 0                               | 2                  | 0                       | 2     | 1                       | 4                  | 0                       | 5     |  |
| Республика Бурятия                  | 53                              | 12                 | 8                       | 73    | 44                      | 11                 | 3                       | 58    | 67                              | 17                 | 3                       | 87    | 45                      | 9                  | 3                       | 57    |  |
| Республика Тыва                     | 1                               | 0                  | 0                       | 1     | 2                       | 0                  | 0                       | 2     | 2                               | 0                  | 0                       | 2     | 2                       | 0                  | 1                       | 3     |  |
| Забайкальский край                  | 47                              | 10                 | 0                       | 57    | 29                      | 11                 | 0                       | 40    | 37                              | 8                  | 4                       | 49    | 33                      | 3                  | 0                       | 36    |  |
| Дальневосточный                     | 561                             | 199                | 20                      | 780   | 421                     | 149                | 12                      | 582   | 581                             | 286                | 46                      | 913   | 627                     | 181                | 25                      | 833   |  |
| Приморский край                     | 155                             | 111                | 6                       | 272   | 165                     | 80                 | 2                       | 247   | 208                             | 71                 | 23                      | 302   | 212                     | 58                 | 17                      | 287   |  |
| Магаданская область                 | 10                              | 1                  | 0                       | 11    | 3                       | 0                  | 0                       | 3     | 4                               | 12                 | 0                       | 16    | 4                       | 8                  | 0                       | 12    |  |
| Еврейская автономная область        | 2                               | 0                  | 0                       | 2     | 1                       | 0                  | 0                       | 1     | 20                              | 1                  | 0                       | 21    | 13                      | 1                  | 0                       | 14    |  |
| ЗГР всего                           | 2785                            | 425                | 50                      | 3260  | 1259                    | 342                | 103                     | 1704  | 1232                            | 429                | 93                      | 1754  | 1256                    | 313                | 52                      | 1621  |  |

Таблица 7

**Структура поступления патентных заявок и выдачи охранных документов по субъектам РФ, в которых допущено создание ЗТР (2010 г. и 2015 г.)**

|                                 | 2010                       |                    |                         |                    |                    |                         | 2015                       |                    |                         |                    |                    |                         |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
|                                 | Подано патентных заявок, % |                    |                         | Выдано патентов, % |                    |                         | Подано патентных заявок, % |                    |                         | Выдано патентов, % |                    |                         |
|                                 | на изобретения             | на полезные модели | на промышленные образцы | на изобретения     | на полезные модели | на промышленные образцы | на изобретения             | на полезные модели | на промышленные образцы | на изобретения     | на полезные модели | на промышленные образцы |
| Российская Федерация            | 67,6                       | 27,7               | 4,7                     | 64,5               | 30,4               | 5,2                     | 68,6                       | 26,7               | 4,7                     | 68,4               | 25,4               | 6,2                     |
| Центральный                     | 71,3                       | 24,1               | 4,6                     | 68,2               | 26,8               | 5,0                     | 75,1                       | 20,3               | 4,6                     | 71,6               | 21,9               | 6,5                     |
| Ивановская область              | 92,8                       | 7,2                | 0,0                     | 90,1               | 9,7                | 0,2                     | 87,1                       | 9,6                | 3,4                     | 88,9               | 10,8               | 0,3                     |
| Северо-Западный                 | 61,1                       | 33,0               | 5,9                     | 57,7               | 35,8               | 6,5                     | 58,6                       | 36,6               | 4,7                     | 60,4               | 33,3               | 6,3                     |
| Республика Карелия              | 57,5                       | 40,0               | 2,5                     | 51,7               | 37,9               | 10,3                    | 39,5                       | 60,5               | 0,0                     | 41,5               | 58,5               | 0,0                     |
| Мурманская область              | 63,9                       | 32,8               | 3,3                     | 59,3               | 40,7               | 0,0                     | 65,5                       | 30,9               | 3,6                     | 61,5               | 36,5               | 1,9                     |
| Южный                           | 69,3                       | 27,8               | 2,9                     | 68,9               | 28,8               | 2,3                     | 66,4                       | 28,9               | 4,8                     | 70,7               | 25,3               | 4,0                     |
| Республика Адыгея               | 85,7                       | 14,3               | 0,0                     | 77,8               | 22,2               | 0,0                     | 13,9                       | 30,6               | 55,6                    | 20,0               | 80,0               | 0,0                     |
| Республика Калмыкия             | 0,0                        | 100,0              | 0,0                     | 100,0              | 0,0                | 0,0                     | 93,8                       | 6,3                | 0,0                     | 95,7               | 4,3                | 0,0                     |
| Северо-Кавказский               | 92,6                       | 5,9                | 1,5                     | 73,1               | 14,9               | 12,1                    | 70,7                       | 23,3               | 6,1                     | 80,2               | 15,6               | 4,1                     |
| Республика Дагестан             | 98,1                       | 1,9                | 0,0                     | 89,4               | 9,8                | 0,8                     | 82,5                       | 11,1               | 6,3                     | 93,5               | 6,0                | 0,4                     |
| Республика Ингушетия            | 0,0                        | 100,0              | 0,0                     | 50,0               | 50,0               | 0,0                     | 0,0                        | 100,0              | 0,0                     | 100,0              | 0,0                | 0,0                     |
| Кабардино-Балкарская Республика | 87,7                       | 8,6                | 3,7                     | 88,5               | 7,7                | 3,8                     | 73,7                       | 17,2               | 9,1                     | 90,1               | 6,9                | 3,0                     |
| Карачаево-Черкесская Республика | 33,3                       | 55,6               | 11,1                    | 55,6               | 44,4               | 0,0                     | 50,0                       | 40,0               | 10,0                    | 61,9               | 33,3               | 4,8                     |

|           | 2010                                |                    |                         |                    |                    |                         | 2015                       |                    |                         |                    |                    |                         |      |
|-----------|-------------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|------|
|           | Подано патентных заявок, %          |                    |                         | Выдано патентов, % |                    |                         | Подано патентных заявок, % |                    |                         | Выдано патентов, % |                    |                         |      |
|           | на изобретения                      | на полезные модели | на промышленные образцы | на изобретения     | на полезные модели | на промышленные образцы | на изобретения             | на полезные модели | на промышленные образцы | на изобретения     | на полезные модели | на промышленные образцы |      |
|           | Республика Северная Осетия – Алания | 82,0               | 9,8                     | 8,3                | 45,5               | 11,5                    | 43,0                       | 68,7               | 30,6                    | 0,7                | 77,2               | 19,3                    | 3,4  |
|           | Чеченская Республика                | 85,3               | 14,7                    | 0,0                | 75,0               | 25,0                    | 0,0                        | 73,5               | 26,5                    | 0,0                | 71,4               | 25,0                    | 3,6  |
|           | Приволжский                         | 58,3               | 35,1                    | 6,6                | 56,3               | 37,8                    | 5,9                        | 60,9               | 34,6                    | 4,5                | 65,6               | 27,2                    | 7,2  |
|           | Кировская область                   | 40,9               | 50,3                    | 8,8                | 48,7               | 40,8                    | 10,5                       | 56,2               | 39,9                    | 3,9                | 56,5               | 32,5                    | 11,0 |
|           | Уральский                           | 52,0               | 43,3                    | 4,6                | 56,5               | 38,2                    | 5,2                        | 53,4               | 40,8                    | 5,8                | 57,7               | 34,0                    | 8,3  |
|           | Курганская область                  | 65,1               | 34,1                    | 0,8                | 63,8               | 33,8                    | 2,5                        | 55,4               | 41,6                    | 3,0                | 58,8               | 39,7                    | 1,5  |
|           | Сибирский                           | 65,5               | 31,1                    | 3,4                | 65,5               | 30,3                    | 4,3                        | 64,6               | 30,7                    | 4,7                | 70,1               | 25,6                    | 4,2  |
|           | Республика Алтай                    | 0,0                | 100,0                   | 0,0                | 25,0               | 62,5                    | 12,5                       | 0,0                | 100,0                   | 0,0                | 20,0               | 80,0                    | 0,0  |
|           | Республика Бурятия                  | 72,6               | 16,4                    | 11,0               | 75,9               | 19,0                    | 5,2                        | 77,0               | 19,5                    | 3,4                | 78,9               | 15,8                    | 5,3  |
|           | Республика Тыва                     | 100,0              | 0,0                     | 0,0                | 100,0              | 0,0                     | 0,0                        | 100,0              | 0,0                     | 0,0                | 66,7               | 0,0                     | 33,3 |
|           | Забайкальский край                  | 82,5               | 17,5                    | 0,0                | 72,5               | 27,5                    | 0,0                        | 75,5               | 16,3                    | 8,2                | 91,7               | 8,3                     | 0,0  |
|           | Дальневосточный                     | 71,9               | 25,5                    | 2,6                | 72,3               | 25,6                    | 2,1                        | 63,6               | 31,3                    | 5,0                | 75,3               | 21,7                    | 3,0  |
|           | Приморский край                     | 57,0               | 40,8                    | 2,2                | 66,8               | 32,4                    | 0,8                        | 68,9               | 23,5                    | 7,6                | 73,9               | 20,2                    | 5,9  |
|           | Магаданская область                 | 90,9               | 9,1                     | 0,0                | 100,0              | 0,0                     | 0,0                        | 25,0               | 75,0                    | 0,0                | 33,3               | 66,7                    | 0,0  |
|           | Еврейская автономная область        | 100,0              | 0,0                     | 0,0                | 100,0              | 0,0                     | 0,0                        | 95,2               | 4,8                     | 0,0                | 92,9               | 7,1                     | 0,0  |
| ЗТР Всего | 85,4                                | 13,0               | 1,5                     | 73,9               | 20,1               | 6,0                     | 70,2                       | 24,5               | 5,3                     | 77,5               | 19,3               | 3,2                     |      |

ляются структурами регионального промышленно-инновационного комплекса, функционируя на основании нормативных правовых актов субъектов РФ. Для обеспечения взаимосвязей между всеми субъектами хозяйственной деятельности регионов необходимо разработать нормативные акты регионального значения, так как согласно федеральному законодательству ЗТР в управленческом процессе инновационного развития субъектов РФ является объектом регионального значения. При этом следует особо отметить, что ЗТР как инструмент региональной инновационной политики может быть эффективен только при сбалансированности мер государственной и инициативы органов исполнительной власти субъектов РФ, а также готовности территориальных субъектов хозяйственной деятельности к инновациям.

*Статья выполнена в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Государственного задания на 2016 год по результатам проекта 2.45.2016/НМ «Организация и проведение мониторинга инновационной деятельности субъектов Российской Федерации».*

### Список литературы

1. Scott A., Storper M. Regions, Globalization, Development // Global Studies. 2003. Vol. 37. No. 6–7.
2. Porter M.E. Regions and the New Economics of Competition / Global City-Regions: Trends, Theory, Policy. Oxford: Oxford University Press, 2001.
3. Указ Президента Российской Федерации от 16.01.2017 № 13 «Об утверждении Основ государственной политики регионального развития Российской Федерации на период до 2025 года». Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_210967](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_210967) (дата обращения 26.01.2017).
4. Бухвальд Е.М. «Зоны территориального развития» и усиление роли субфедерального звена управления в модернизации российской экономики // Журнал «ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика». 2012. № 3 (дата обращения 26.10.2016).
5. Федоров Е.А. О зонах территориального развития в Российской Федерации. Available at: <http://www.eafedorov.ru/node1472.html> (дата обращения 03.11.2016).
6. Федеральная служба государственной статистики. Available at: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/science\\_and\\_innovations/science](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science) (дата обращения 09–14.12.2016).

### References

1. Scott A., Storper M. (2003) Regions, Globalization, Development. Global Studies. Vol. 37. No. 6–7.
2. Porter M.E. (2001) Regions and the New Economics of Competition. Global City-Regions: Trends, Theory, Policy. Oxford: Oxford University Press.
3. *Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 16.01.2017 No. 13 «Ob utverzhdenii Osnov gosudarstvennoy politiki regional'nogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda»* [The Decree of the President of the Russian Federation number 13 of 16.1.2017 «On approval of the Fundamentals of the State Policy of the Russian Federation regional development for the period till 2025»]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_210967](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_210967) (reference date 26.01.2017).
4. Buhwald E.M. (2012) «Zony territorial'nogo razvitiya» i usilenie roli subfederal'nogo zvena upravleniya v modernizatsii rossiyskoy ekonomiki [Zones of territorial development» and strengthening the role of subfederal governing level in the modernization of the russian economy] *Zhurnal «ETAP: ekonomicheskaya teoriya, analiz, praktika* [Journal ETAP: economic theory, analysis, and practice]. No. 3 (reference date 26.10.2016).
5. Fedorov E.A. (2016) *O zonakh territorial'nogo razvitiya v Rossiyskoy Federatsii* [Zones of territorial development in the Russian Federation]. Available at: <http://www.eafedorov.ru/node1472.html> (reference date 11.03.2016).
6. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki* [The Federal State Statistics Service]. Available at: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/science\\_and\\_innovations/science](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science) (reference date 09–14.12.2016).



## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА КОМПАНИЙ ПАРТНЕРОВ ВУЗОВ

**Н.А. Лукашева**, зам. нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [nal@extech.ru](mailto:nal@extech.ru)

**Ю.Н. Андреев**, гл. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. экон. наук,  
[uandreev@extech.ru](mailto:uandreev@extech.ru)

*Статья подготовлена на базе материалов мониторинга выполнения вузами программ развития инновационной инфраструктуры в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 219 от 2010 года. Собраны сведения о профиле деятельности компаний, указанных вузами в качестве партнеров в реальном секторе экономики. Создана группировка компаний по отраслям и подотраслям в соответствии с реальными функциями компаний. Отмечено выполнение компаниями отдельных функций: производство, научные исследования и разработки, инфраструктурные функции, управленческие функции. В результате получена удобная для анализа база данных, с помощью которой проведен анализ структуры всей совокупности компаний партнеров.*

**Ключевые слова:** виды экономической деятельности, партнеры вузов, взаимодействие вузов и компаний, структура реального сектора экономики и инновации, отраслевые приоритеты научно-технической деятельности вузов.

## RESEARCH OF THE COMPOSITION OF COMPANIES OF PARTNERS OF UNIVERSITIES

**N.A. Lukasheva**, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, [nal@extech.ru](mailto:nal@extech.ru)

**Yu.N. Andreyev**, Chief Researcher, SRI FRCEC, Doctor of Economics,  
[uandreev@extech.ru](mailto:uandreev@extech.ru)

*The article is prepared on the basis of materials for monitoring the implementation by universities of programmes for the development of innovation infrastructure in accordance with the RF Government Decision No. 219 of 2010. Information on the profile of companies identified by universities as partners in the real sector of the economy has been collected. A grouping of companies by branches and sub-sectors was created in accordance with the real functions of companies. The fulfillment of certain functions by companies is noted: production, research and development, infrastructure functions, management functions. As a result, we obtained a database convenient for analysis, with the help of which the structure of the entire set of partner companies was analyzed.*

**Keywords:** types of economic activity, partners of universities, interaction of universities and companies, structure of real sector of economy and innovations, branch priorities of scientific and technical activity of universities.

Исследование проведено с целью выявления отраслевой структуры деятельности партнеров вузов в реальном секторе экономики. Накопленные материалы позволяли провести анализ направлений реальных потоков научно-технических разработок в разные сектора экономики [1,2]. В своих отчетах вузы представляют сведения о постоянных партнерах и о заключении соглашений и договоров о сотрудничестве с компаниями. Но эта информация не сведена в общую картину, что не позволяет выявить направления реальных потоков научно-технических разработок в экономику [3]. Знание отраслевой структуры деятельности партнеров вузов позволяет более надежно оценивать экономические и технологические эффекты от инновационной деятельности вузов [4].

| Соглашения о сотрудничестве с предприятиями региона |                                                  |                                                                          |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| № п/п                                               | Название компании партнера                       | Цели соглашения                                                          |
| 1                                                   | ОАО «Комбинат КМАруда»                           | Выполнение НИОКР                                                         |
| 2                                                   | ОАО «Лебединский горно-обогатительный комбинат»  | Выполнение НИОКР                                                         |
| 3                                                   | ЗАО «Белгородский завод горного машиностроения»  | Выполнение НИОКР                                                         |
| 4                                                   | ООО «Скиф-М»                                     | Выполнение хоздоговоров                                                  |
| 5                                                   | ООО «Эфко»                                       | Проведение исследований                                                  |
| 6                                                   | ООО «Приосколье»                                 | Проведение совместных испытаний, отработка технологий                    |
| 7                                                   | ЗАО «ВладМиВа»                                   | Проведение совместных исследований и испытаний разрабатываемой продукции |
| 8                                                   | Филиал ОАО «МРСК Центра» – «Белгородэнерго»      | Проведение совместных исследований                                       |
| 9                                                   | Ассоциация машиностроителей Белгородской области | Участие в совместных разработках, исследованиях                          |

**Рис. 1. Форма представления данных о партнерах вузов**

Источник информации о партнерах вузов – форма отчетности, заполняемая вузами при подготовке полугодового отчета за 12 этап (01.01.2016–30.06.2016) о выполнении программ инновационного развития. Пример заполненной формы представлен на рис. 1.

Дополнительная информация о каждом предприятии была собрана на сайтах указанных партнеров. Методические трудности обработки получаемой таким образом информации заключаются в отсутствии официальных источников информации о характере компаний, сотрудничающих с вузами, а также в отсутствии общепринятых методов классификации по видам деятельности многопрофильных предприятий, к каким относятся почти все предприятия в полученных списках. Официальный классификатор видов экономической деятельности (ОКВЭД) может быть достаточно уверенно применен к крупным предприятиям, в основном монопрофильным, в то время как партнеры вузов чрезвычайно разнообразны, заявляют одновременно о нескольких видах экономической деятельности относящихся к разным отраслям [5]. Поэтому методическая проблема заключалась в выборе параметров описания партнеров и методов группировки записей о предприятиях для последующих обобщений.

Обобщение данных проводилось в три этапа. На первом этапе были собраны характеристики каждого партнера. На втором этапе были уточнены наименования групп компаний на двух уровнях: отрасль и внутри нее подотрасль. В базу данных вводился тип предприятия из подготовленного списка и дополнительные сведения о выполняемых предприятием или компанией функциях. При этом допускалось выполнение одним партнером одновременно нескольких функций. Наименования отраслей и подотраслей выбирались максимально приближенные к общепринятым, но с учетом особенностей тех конкретных компаний, которые в эти группы были включены. Принятый список отраслей с пояснениями приведен в табл. 1.

Подотрасли выделялись по мере накопления данных о профиле компаний: авиастроение, автомобилестроение, атомная, биотехнологии, горнорудная, легкая, машиностроение, медицинская техника, металлообработка, металлургия, нефтегазовая, пищевая, приборостроение, радиотехническая, радиоэлектронная, ракетная-космическая, строительство, фармацевтическая, химия, электронная, электротехническая, энергетическая и т.д. Специфика

нескольких предприятий партнеров состоит в производстве продукции одновременно для нескольких отраслей. Пример такой специализации холдинг по производству композитных материалов, потребителями которых являются предприятия авиастроения, строительные, транспортные и складские предприятия. Для сохранения такой информации мы регистрируем профиль предприятия под нестандартным названием «новые материалы».

Таблица 1

**Краткое описание отраслей в реальном секторе экономики**

| Название отрасли                     | Краткое описание                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Агропромышленный комплекс (АПК)      | АПК включает предприятия, занятые производством и обработкой сельскохозяйственной продукции, в том числе предприятия лесной отрасли. Доведение продукции до потребителя                                                                                                                  |
| Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) | В ЖКХ входят компании, занятые поддержкой жилищного хозяйства (капитальный и текущий ремонт зданий), теплоснабжение, водоснабжение и водоотведение, электроснабжение, ремонт инженерных коммуникаций, а также благоустройство территорий, утилизация мусора и уборка                     |
| Здравоохранение и медицина           | Здравоохранение: учреждения здравоохранения бюджетные и коммерческие. Медицина: предприятия производящие медицинское оборудование и лекарственные препараты, научные учреждения медицинского профиля                                                                                     |
| Инфраструктура                       | Организации, предлагающие услуги для реализации инновационных проектов. Услуги консалтинговые, финансовые, маркетинговые и прочие                                                                                                                                                        |
| Информационные технологии            | Производство программного обеспечения, оборудования и услуг для создания, передачи и использования информации в целях производства или потребления                                                                                                                                       |
| Наука                                | К данной отрасли были отнесены организации, в которых осуществляются научные исследования и разработки как профильный вид деятельности. В перечень предприятий реального сектора включены на том основании, что совмещают научную деятельность с производственной                        |
| Оборонно-промышленный комплекс (ОПК) | Данная отрасль включает организации, полностью или частично занятые производством продукции и услуг оборонного назначения                                                                                                                                                                |
| Промышленность                       | Предприятия материального производства: авиастроение, автомобилестроение, атомная, биотехнологии, горно-рудная, легкая, машиностроение, медицинская техника, металлообработка, металлургия, нефте-газовая, радиотехническая, радиоэлектронная, электротехническая, энергетическая и т.д. |
| Связь и телекоммуникации             | Связь и массовые коммуникации включает сети Интернет, электросвязь, связь с использованием спутников, обслуживающие организации                                                                                                                                                          |
| Строительство                        | Включаются организации по строительству                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Торговля                             | Включает организации логистики, оптовой торговли, маркетинга                                                                                                                                                                                                                             |
| Культура                             | Музеи, библиотеки, другие организации публичного использования                                                                                                                                                                                                                           |
| Транспорт                            | Представляет совокупность организаций транспортной инфраструктуры, включая транспортное строительство, транспортные предприятия и управление транспортом                                                                                                                                 |
| Управление                           | В данную отрасль входят организации, в которых управленческие функции являются главными                                                                                                                                                                                                  |
| Финансовая                           | В данную отрасль входят организации, чья деятельность связана с оказанием финансовых услуг                                                                                                                                                                                               |
| Туризм                               | Включает предприятия и организации, которые удовлетворяют потребности туристов в материальных и нематериальных услугах                                                                                                                                                                   |

Характеристики «выполняемые функции» выбирались из списка: производство продукции (производство), инфраструктурные (вспомогательные функции), научные и конструкторские функции. Часть массива характеристик партнеров, полученных после предварительной обработки данных, приведена в табл. 2.

Таблица 2

**Обработка данных о партнерах вузов в реальном секторе экономики**

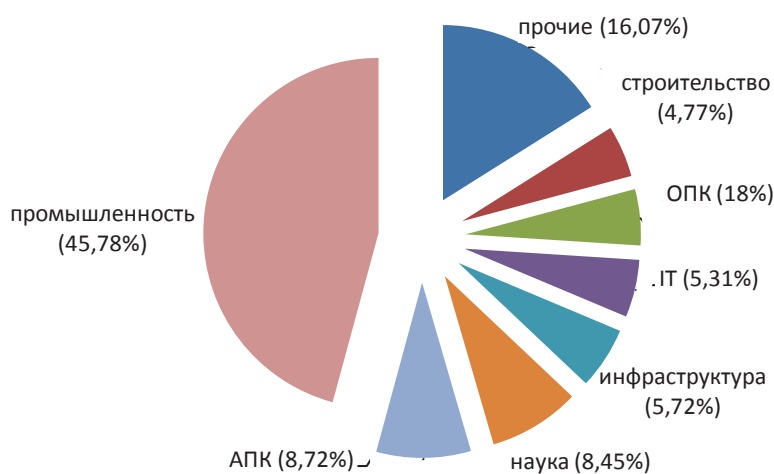
| № п/п | Название компании партнера                                                      | Тип партнера             | Отрасль                    | Подотрасль                                  | Функции                  |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|--------------------------|
| 1     | ООО «Основа Телеком»                                                            | производственный         | связь и телекоммуникации   | электрическая связь                         | производство             |
| 2     | Социально-реабилитационный центр «Русь»                                         | социальный               | здравоохранение и медицина | медицинские услуги                          | социальная               |
| 3     | ЗАО «Петербургский тракторный завод»                                            | производственный         | промышленность             | машиностроение                              | производство             |
| 4     | ОАО «Завод радиотехнического оборудования»                                      | производственный         | ОПК                        | технические средства                        | производство             |
| 5     | ЗАО «СПИИРАН – Научно-техническое бюро высоких технологий»                      | научно-технический       | информационные технологии  | техническая база                            | производство, наука      |
| 6     | «Территория научно технического развития – Технополис Гусев» (Технополис GS)    | инфраструктурный         | инфраструктура             | инновационная                               | инфраструктура, наука    |
| 7     | ЗАО «Аэропорт «Храброво»                                                        | производственный         | транспорт                  | воздушный                                   | производство             |
| 8     | «Строительная компания «Балтийский дом недвижимости»                            | производственный         | строительство              | жилищное                                    | производство             |
| 9     | ОАО «Янтарьэнергосбыт»                                                          | производственный         | ЖКХ                        | энергосбыт                                  | производство             |
| 10    | ООО «Эфко»                                                                      | производственный         | АПК                        | растениеводство, животноводство             | производство             |
| 11    | ООО «Приосколье»                                                                | производственный         | торговля                   | производственные товары                     | производство             |
| 12    | ОАО АИКБ «Татфонд банк»                                                         | инвестиционный           | финансовая                 | банковская                                  | инфраструктура           |
| 13    | ООО «Управляющая компания «Булатов Групп»                                       | управляющий              | управление                 | управление финансово-промышленными группами | управление               |
| 14    | ОИВТ РАН                                                                        | научно-исследовательский | наука                      | технические                                 | наука                    |
| 15    | ГУК «Кемеровский краеведческий музей»                                           | научно-просветительский  | культура                   | краеведение                                 | социальная, наука        |
| 16    | Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный парк «Паанаярви» | социальный               | туризм                     | экология и туризм                           | производство, социальная |

В результате было сформировано распределение предприятий партнеров по отраслям. Полученное распределение в относительных величинах показано на рис. 2.



**Рис. 2. Распределение партнеров вузов по отраслям экономики**

Как видно из рис. 2 самая большая доля партнеров вузов приходится на промышленность (45,8%). На долю АПК, науки, инфраструктуры и информационных технологий приходится еще 28,2%, что в сумме с долей промышленности составляет 74%. Следует отметить, что полученная структура заметно отличается от структуры приоритетных направлений исследований федерального уровня и уровня университетов. Еще более резкие отличия обнаруживаются при сопоставлении со структурой Национальной технологической инициативы (НТИ). Очевидно, что вузы ориентируются на текущие нужды экономики, что позволяет им получать доходы, достаточные для воспроизводства научной деятельности. На рис. 3 показана обобщенная отраслевая структура предприятий, с которыми работают вузы.



**Рис. 3. Обобщенная отраслевая структура реального сектора экономики, взаимодействующего с вузами**

В табл. 3 приведены сводные количественные данные о распределении партнеров вузов по отраслям и подотраслям.

Таблица 3

**Предварительный анализ отраслевой структуры предприятий партнеров (ед.)**

| Отрасль                                                                                                    | Подотрасль                      | Число партнеров | Из них выполняют функции: |                |           |            |            |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|-----------|------------|------------|----------------|
|                                                                                                            |                                 |                 | производство              | инфраструктура | наука     | управление | социальная | проектирование |
| <b>Промышленность</b><br> | машиностроение                  | 57              | 57                        |                | 9         |            |            |                |
|                                                                                                            | химия                           | 31              | 31                        | 2              | 5         |            |            |                |
|                                                                                                            | приборостроение                 | 30              | 30                        |                | 13        |            |            |                |
|                                                                                                            | нефте-газовая                   | 25              | 25                        |                | 3         |            |            |                |
|                                                                                                            | электронная                     | 20              | 20                        |                | 7         |            |            |                |
|                                                                                                            | радиоэлектронная                | 17              | 17                        |                | 9         |            |            |                |
|                                                                                                            | электротехническая              | 17              | 17                        |                | 3         |            |            |                |
|                                                                                                            | энергетическая                  | 17              | 17                        |                | 1         |            |            |                |
|                                                                                                            | пищевая                         | 16              | 16                        |                |           |            |            |                |
|                                                                                                            | авиастроение                    | 14              | 14                        |                | 3         |            |            |                |
|                                                                                                            | строительство                   | 13              | 13                        |                | 3         |            |            |                |
|                                                                                                            | горно-рудная                    | 12              | 12                        |                |           |            |            |                |
|                                                                                                            | металлообработка                | 9               | 9                         |                |           |            |            |                |
|                                                                                                            | металлургия                     | 9               | 9                         |                |           |            |            |                |
|                                                                                                            | ракетная-космическая            | 9               | 9                         |                | 5         |            |            |                |
|                                                                                                            | автомобилестроение              | 8               | 8                         |                |           |            |            | 1              |
|                                                                                                            | медицинская техника             | 7               | 7                         |                | 3         |            |            | 1              |
|                                                                                                            | фармацевтическая                | 7               | 7                         |                | 6         |            |            |                |
|                                                                                                            | атомная                         | 5               | 5                         |                | 2         |            |            |                |
|                                                                                                            | легкая                          | 5               | 5                         |                | 1         |            |            |                |
|                                                                                                            | биотехнологии                   | 4               | 4                         |                | 2         |            |            |                |
|                                                                                                            | радиотехническая                | 4               | 4                         |                | 1         |            |            |                |
|                                                                                                            | <b>Всего</b>                    | <b>336</b>      | <b>336</b>                | <b>2</b>       | <b>76</b> |            |            | <b>2</b>       |
| <b>АПК</b><br>          | растениеводство, животноводство | 46              | 46                        |                |           |            |            |                |
|                                                                                                            | машиностроение для АПК          | 8               | 8                         |                |           |            |            |                |
|                                                                                                            | лесоводство и лесозаготовки     | 5               | 5                         |                |           |            |            |                |
|                                                                                                            | производство удобрений          | 3               | 1                         |                | 2         |            |            |                |
|                                                                                                            | инфраструктура для АПК          | 2               | 2                         |                |           |            |            |                |
|                                                                                                            | <b>Всего</b>                    | <b>64</b>       | <b>62</b>                 |                | <b>2</b>  |            |            |                |



Продолжение таблицы 3

| Отрасль                                                                                                           | Подотрасль                       | Число партне-<br>ров | Из них выполняют функции: |                          |       |                 |                 |                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|-------|-----------------|-----------------|---------------------------|
|                                                                                                                   |                                  |                      | произ-<br>водство         | инфра-<br>струк-<br>тура | наука | управ-<br>ление | соци-<br>альная | проект-<br>тиро-<br>вание |
| Строительство<br>                | жилищное                         | 18                   | 16                        |                          | 2     |                 |                 | 3                         |
|                                                                                                                   | промышленное                     | 9                    | 7                         |                          | 1     | 1               |                 | 4                         |
|                                                                                                                   | инфраструктурное                 | 6                    | 6                         |                          |       | 1               |                 | 3                         |
|                                                                                                                   | материалы и инструменты          | 2                    | 2                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | Всего                            | 35                   | 31                        |                          | 3     | 2               |                 | 10                        |
| Инфраструктура<br>               | инновационная                    | 31                   | 1                         | 28                       | 22    |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | социальная                       | 2                    |                           | 2                        |       |                 | 2               |                           |
|                                                                                                                   | экология                         | 4                    | 1                         | 3                        | 4     |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | строительство                    | 4                    |                           | 2                        |       | 2               |                 |                           |
|                                                                                                                   | Всего                            | 42                   | 2                         | 35                       | 26    | 2               | 2               |                           |
| ЖКХ<br>                         | энергосбыт                       | 5                    | 4                         |                          |       | 1               |                 |                           |
|                                                                                                                   | энергонадзор                     | 1                    |                           |                          |       | 1               |                 |                           |
|                                                                                                                   | водоснабжение и водоотведение    | 1                    | 1                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | Всего                            | 7                    | 5                         |                          |       | 2               |                 |                           |
| Здравоохранение и медицина<br> | медицинские услуги               | 8                    |                           |                          | 1     |                 | 8               |                           |
|                                                                                                                   | медицинские материалы            | 1                    | 1                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | медицинская техника              | 2                    | 2                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | наука                            | 4                    |                           |                          | 3     |                 | 2               |                           |
|                                                                                                                   | Всего                            | 15                   | 3                         |                          | 3     |                 | 10              |                           |
| Информационные технологии<br>  | техническая база                 | 9                    | 9                         |                          | 9     |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | информационные услуги и продукты | 29                   | 29                        |                          | 28    |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | Всего                            | 38                   | 38                        |                          | 37    |                 |                 |                           |
| ОПК<br>                        | технические средства             | 29                   | 29                        |                          | 15    |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | связь, наблюдение, управление    | 7                    | 5                         |                          | 5     |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | материалы                        | 2                    | 2                         |                          | 1     |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | Всего                            | 38                   | 36                        |                          | 21    |                 |                 |                           |
| Наука<br>                      | фундаментальные                  | 14                   | 2                         | 14                       |       | 1               |                 |                           |
|                                                                                                                   | технические                      | 42                   | 6                         | 42                       |       |                 |                 | 5                         |
|                                                                                                                   | общественные                     | 2                    |                           | 2                        |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | здравоохранение и медицина       | 2                    |                           | 2                        |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | биотехнологии                    | 2                    |                           | 2                        |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                   | Всего                            | 62                   | 8                         | 62                       |       | 1               |                 | 5                         |

Окончание таблицы 3

| Отрасль                                                                                                                | Подотрасль                                  | Число партне-<br>ров | Из них выполняют функции: |                          |       |                 |                 |                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|-------|-----------------|-----------------|---------------------------|
|                                                                                                                        |                                             |                      | произ-<br>водство         | инфра-<br>струк-<br>тура | наука | управ-<br>ление | соци-<br>альная | проект-<br>тиро-<br>вание |
| <b>Транспорт</b><br>                  | воздушный                                   | 4                    | 4                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                        | железнодорожный                             | 16                   | 8                         | 5                        | 1     | 2               |                 |                           |
|                                                                                                                        | автомобильный                               | 2                    | 4                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                        | водный                                      | 1                    | 1                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                        | Всего                                       | 23                   | 17                        | 5                        | 1     | 2               |                 |                           |
| <b>Торговля</b><br>                   | производственные товары                     | 11                   | 11                        |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                        | электричество и топливо                     | 2                    | 2                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                        | сырье, материалы, ресурсы                   | 6                    | 6                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                        | машины, инструменты и оборудование          | 5                    | 5                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                        | потребительские товары                      | 3                    | 3                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                        | Всего                                       | 27                   | 27                        |                          |       |                 |                 |                           |
| <b>Связь и телекоммуникации</b><br> | электрическая связь                         | 9                    | 9                         |                          |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                        | инфраструктура                              | 1                    |                           | 1                        | 1     |                 |                 |                           |
|                                                                                                                        | Всего                                       | 10                   | 9                         | 1                        |       |                 |                 |                           |
| <b>Управление</b><br>               | транспорт                                   | 4                    | 1                         | 1                        | 1     | 3               |                 |                           |
|                                                                                                                        | строительство                               | 5                    |                           |                          | 1     | 4               |                 | 1                         |
|                                                                                                                        | социальная                                  | 5                    |                           |                          |       | 5               | 3               |                           |
|                                                                                                                        | ракетно-космическая                         | 1                    |                           | 1                        | 1     | 1               |                 |                           |
|                                                                                                                        | природопользование                          | 1                    |                           |                          |       | 1               |                 |                           |
|                                                                                                                        | ОПК                                         | 3                    |                           |                          | 1     | 2               |                 |                           |
|                                                                                                                        | нефтеперерабатывающая, нефте- и газодобыча  | 3                    |                           |                          |       | 3               |                 | 1                         |
|                                                                                                                        | инновационная                               | 3                    |                           | 1                        | 1     | 3               |                 |                           |
|                                                                                                                        | управление финансово-промышленными группами | 1                    | 1                         |                          |       | 1               |                 |                           |
|                                                                                                                        | Всего                                       | 26                   | 1                         | 3                        | 5     | 23              | 3               | 2                         |
| <b>Финансовая</b>                                                                                                      | банковская                                  | 4                    |                           | 4                        |       |                 |                 |                           |
|                                                                                                                        | Всего                                       | 3                    |                           | 4                        |       |                 |                 |                           |
| <b>Культура</b><br>                 | социальная                                  | 4                    | 2                         | 2                        | 2     |                 | 4               |                           |
|                                                                                                                        | краеведение                                 | 2                    |                           |                          | 2     |                 | 2               |                           |
|                                                                                                                        | Всего                                       | 6                    | 2                         | 2                        | 4     |                 | 6               |                           |
| <b>Туризм</b>                                                                                                          | экология и туризм                           | 1                    | 1                         |                          |       |                 | 1               |                           |
|                                                                                                                        | Всего                                       | 1                    | 1                         |                          |       |                 | 1               |                           |

Необходимость изучения форм и направлений воздействия вузовской науки на предприятия реального сектора экономики обусловлена среди прочих факторов также и возрастающей ролью в доходах университетов заказов промышленности. По результатам мониторинга 2016 года общий объем выполненных вузами, участниками Постановления Правительства РФ № 219, исследований составил 123,3 млрд рублей, в том числе от предприятий промышленности получено за выполнение исследований и разработок 57,6 млрд рублей, что составило значимую долю 46,7%.

Разработанный метод анализа позволяет выявить основных потребителей результатов научных исследований и разработок в реальном секторе экономики.

Выявлена безусловно лидирующая роль предприятий промышленности во взаимодействии с вузами. Характерно, что примерно четверть партнеров в промышленности имеет собственные научные подразделения, что облегчает контакты с научными организациями и объясняет преимущество промышленности. Вторая по степени развития научных подразделений группа партнеров вузов находится в отрасли «управление». В данном случае конечными заказчиками, скорее всего, окажутся те же производственные предприятия, которые попали в промышленную группу, но контракты заключались на уровне управляющих компаний и других управленческих организаций. Доля предприятий, выполняющих наряду с основными функциями также и научные, характеризует степень наукоемкости данной отрасли. На рис. 4 показана доля предприятий, выполняющих наряду с профильными функциями также и функции научно-технической деятельности (наука и проектирование).

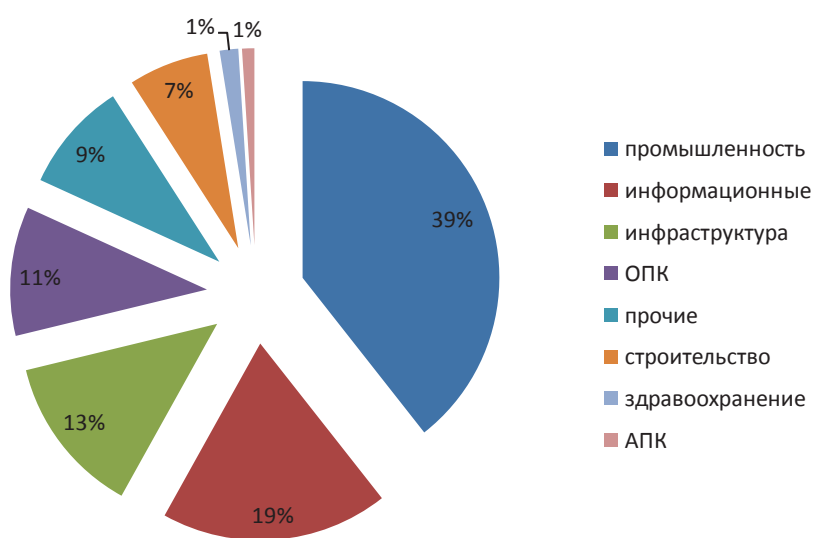


Рис. 4. Оценка наукоемкости предприятий партнеров вузов в разных отраслях

В статье приведены результаты предварительного анализа, которые дают ответ на вопрос о выборе адекватного метода изучения производственных связей вузов. Научное значение анализа в том, что он позволяет определить так называемые «точки роста» экономики, то есть, те виды деятельности, которые наиболее подготовлены к использованию научно-технических разработок вузов [6]. Это явление можно объяснить тем, что в рассмотренной совокупности предприятий осуществляется наиболее короткий путь от оплаты научных исследований до получения экономического результата. Поэтому основную массу заказчиков составляют не компании высокотехнологичных наукоемких отраслей, а компании экономически ведущих отраслей. В то же время следует отметить высокую долю компаний, совме-

шающих производственные функции с научными. Наличие в структуре предприятия научного подразделения облегчает взаимодействие предприятия с вузом.

Второй аспект исследования — методический заключается в выявлении перспективности применения смешанной технологии иерархически организованной классификации с использованием модели реляционной базы данных, позволяющей фиксировать совмещение признаков разных групп при описании одного объекта. Показано также, что при группировке компаний по видам деятельности следует исходить из свойств реальной совокупности, учет которых приводит к группировке, отличной от официальных группировок, принятых в статистическом учете.

Совмещение видов деятельности и выполняемых функций стало настолько распространенным явлением, что в полученной группировке просматривается симметрия в выделении ведущих признаков. Например, в отрасли «наука» выделяется подотрасль «здравоохранение», а в отрасли «здравоохранение и медицина» подотрасль «наука».

В табл. 2 приведена характеристика типа предприятия вне зависимости от принадлежности к той или иной отрасли. Введение этой характеристики имело целью проверку общепринятого мнения о роли производственных предприятий как практически единственного типа партнера вузов и научных организаций в реальном секторе экономики. Полученные данные показали, что производственные предприятия как тип партнера действительно преобладают, но не являются единственно возможными. На рис. 5 показано распределение партнеров вузов в реальном секторе экономики по типам.

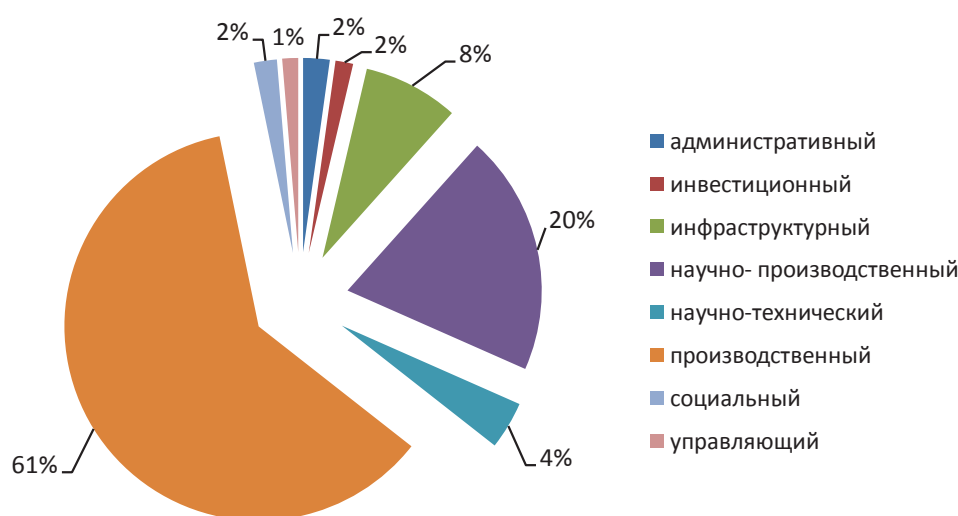


Рис. 5. Распределение партнеров вузов по типам

Предприятия научно-технического типа, занимающие 4% общего числа партнеров, представляют собой в большинстве случаев научные организации, конструкторские бюро, проектные институты, которые совмещают профильную деятельность с производственной деятельностью, что стало распространенным явлением. Высокая доля научно-производственных предприятий подтверждает ранее сделанный вывод о положительном влиянии наличия собственного научного подразделения в предприятии на организацию взаимодействия с вузами и научными организациями. Предприятия социального и административного типа составляют небольшую долю партнеров, но они обеспечивают спрос на особый вид инновационной деятельности, ориентированный на решение социальных задач.

При условии дальнейшего развития мониторинга связей вузовской науки с реальным сектором экономики можно получить данные для оценки экономической и социальной эффективности передаваемых в экономику научных результатов. Эта информация может быть полезна при планировании НИОКР и при формировании государственных заданий.

*В статье приведены результаты, полученные при выполнении работ в рамках Государственного задания Министерства образования и науки РФ № 26.4268.2017/НМ.*

### Список литературы

1. Андреев Ю.Н., Лукашева Н.А. Государственный мониторинг инновационной деятельности вузов. Управление инновациями: теория, методология, практика. № 13. 2015. С. 17–21.
2. Лукашева Н.А. Выполнение задач государственной политики в секторе исследований и разработок. Инноватика и экспертиза. Научные труды. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. Вып. 2 (15). 2015. С. 114–131.
3. Информационно-аналитические материалы по перспективным научным и инновационным разработкам образовательных и научных организаций // Информационно-аналитический бюллетень. Вып. 1–4. Редакционная коллегия: Мельник П.Б., Турко Т.И., Андреев Ю.Н., Храмов Н.Б., Борецкая С.В., Гудкова А.А., Лукашева Н.А., Родионова Г.Г., Дуквиц С.В. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. М., 2015.
4. Андреев Ю.Н., Лукашева Н.А. Проблемы мониторинга эффектов деятельности вуза // Инноватика и экспертиза. Научные труды. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. Выпуск 1 (12). М., 2014. С. 176–186.
5. Киселев В.Н., Шувалов С.С., Дранев Я.Н. Об оценке обеспеченности гражданских отраслей промышленности научно-техническими заделами для реализации проектов импортозамещения – 2016 // Инновации. 2016. № 9. С. 33–41.
6. Андреев Ю.Н. Структура научно-технических разработок. Инноватика и экспертиза. Научные труды. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. 2016. Вып. 1 (16). С. 145–151.

### References

1. Andreyev Y.N., Lukasheva N.A. (2015) *Gosudarstvennyy monitoring innovatsionnoy deyatel'nosti vuzov. Upravlenie innovatsiyami: teoriya, metodologiya, praktika* [State monitoring of innovation activity of universities. Innovation management: theory, methodology, practice]. No. 13, pp. 17–21.
2. Lukasheva N.A. (2015) *Vypolnenie zadach gosudarstvennoy politiki v sektore issledovaniy i razrabotok* [Implementation of public policy objectives in the research and development sector] *Innovatika i ekspertiza. Nauchnye trudy. FGBNU NII RINKTsE* [Innovation and expertise. Scientific works. SRI FRCEC], Moscow, vol. 2(15), pp. 114–131.
3. *Informatsionno-analiticheskie materialy po perspektivnym nauchnym i innovatsionnym razrabotkam obrazovatel'nykh i nauchnykh organizatsiy* [Information and analytical materials on promising scientific and innovative developments of educational and scientific organizations. Editorial Board: Melnik P.B., Turko T.I., Andreyev Y.N., Khramov N.B., Boretskaya S.V., Gudkova A.A., Lukasheva N.A., Rodionova G.G., Dukvits S.V.] *Informatsionno-analiticheskiy byulleten' FGBNU NII RINKTsE* [Information and analytical bulletin SRI FRCEC], Moscow, 2015, vol. 1–4.
4. Andreev Y.N., Lukasheva N.A. (2014) *Problemy monitoringa effektivnosti deyatel'nosti vuza* [Problems of Monitoring the Effects of the Activity of the University] *Innovatika i ekspertiza. Nauchnye trudy FGBNU NII RINKTsE* [Innovatics and Expert Examination. Scientific works SRI FRCEC], Moscow, vol. 1(12), pp. 176–186.
5. Kiselev V.N., Shuvalov S.S., Dranev Ya.N. (2016) *Ob otsenke obespechennosti grazhdanskikh otrasley promyshlennosti nauchno-tehnicheskimi zadelami dlya realizatsii projektov importozameshcheniya – 2016* [On the assessment of the provision of civilian industries with scientific and technical reserves for the implementation of import substitution projects – 2016] *Innovatsii* [Innovations]. No. 9, pp. 33–41.
6. Andreev Y.N. (2016) *Struktura nauchno-tehnicheskikh razrabotok* [Structure of scientific and technical developments] *Innovatika i ekspertiza. Nauchnye trudy. FGBNU NII RINKTsE* [Innovatics and expert examination. Scientific works. SRI FRCEC]. Vol. 1 (16), pp. 145–151.

## КОНКУРСЫ 2017 ГОДА НА ПРАВО ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНТОВ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ МОЛОДЫХ РОССИЙСКИХ УЧЕНЫХ – КАНДИДАТОВ НАУК И ДОКТОРОВ НАУК И СРЕДСТВ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ ВЕДУЩИХ НАУЧНЫХ ШКОЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Б.В. Иванов**, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [bivanov@extech.ru](mailto:bivanov@extech.ru)

**С.В. Кристалинская**, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [kris@extech.ru](mailto:kris@extech.ru)

**Е.А. Гладышева**, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [glad@extech.ru](mailto:glad@extech.ru)

**Д.А. Добрынин**, инж.-прогр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [martencat@gmail.ru](mailto:martencat@gmail.ru)

*В статье представлены результаты конкурсов 2017 года: Проанализировано распределение конкурсных заявок по областям знаний, регионам и ведомствам; рассмотрена динамика количества участников конкурсов по годам; обобщены данные о соответствии представленных научных исследований направлениям национальной технологической инициативы и сведения о публикационной активности соискателей.*

**Ключевые слова:** гранты Президента Российской Федерации, конкурс, молодые российские ученые, кандидаты наук, доктора наук, информационное сопровождение, организационно-техническое обеспечение, НТИ, международные информационно-аналитические системы научного цитирования.

## CONTESTS OF 2017 FOR THE RIGHT TO RECEIVE GRANTS FROM THE PRESIDENT OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR STATE SUPPORT OF YOUNG RUSSIAN SCIENTISTS – DOCTORS OF PHILOSOPHY AND DOCTORS OF SCIENCE AND FUNDS FOR STATE SUPPORT OF THE LEADING SCIENTIFIC SCHOOLS OF THE RUSSIAN FEDERATION

**B.V. Ivanov**, Director of Centre, SRI FRCEC, [bivanov@extech.ru](mailto:bivanov@extech.ru)

**S.V. Krystalinskaya**, Senior Researcher, SRI FRCEC, [kris@extech.ru](mailto:kris@extech.ru)

**E.A. Gladisheva**, Senior Researcher, SRI FRCEC, [glad@extech.ru](mailto:glad@extech.ru)

**D.A. Dobrinin**, Software Engineer, SRI FRCEC, [martencat@gmail.ru](mailto:martencat@gmail.ru)

*The article presents the results of the 2017 contests: The distribution of competitive bids for knowledge areas, regions and departments is analyzed; The dynamics of the number of participants in competitions by years; Data on the correspondence of the submitted scientific research to the directions of the national technology initiative and information on the publication activity of applicants are summarized.*

**Keywords:** grants of the President of the Russian Federation, the contest of young Russian scientists, candidates of Sciences, doctors of Sciences, information support, logistics, NTI, international information-analytical system of scientific citation.

Тенденция привлечения российской молодежи в науку устойчивая и весомая. Наука стала той сферой, где работать стало не только интересно, но и престижно. Одной из основных задач государства является содействие закреплению перспективной научной молодежи в ведущих российских научных организациях. Развиваются новые подходы к формированию и



развитию кадрового потенциала для научно-технологической сферы России, созданию условий для реализации талантов молодых исследователей в науке и инновационной сфере.

Гранты Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых оказывают точечную поддержку наиболее талантливым и активным кандидатам и докторам наук, благодаря которой молодые исследователи имеют возможность сосредоточить свои усилия и серьезно продвинуться в выбранных направлениях.

Во исполнение приказа Минобрнауки России от 23.08.2016 № 1098 «О проведении в 2017 году конкурсов на право получения грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и докторов наук» ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ осуществило организационно-техническое и информационное обеспечение деятельности Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых и по государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации в части проведения заявочной кампании данных конкурсов.

Конкурсы проводились среди молодых кандидатов наук (далее – МК-2017) и докторов наук (далее – МД-2017).

В заявочную кампанию МК-2017 зарегистрировалось 3357 соискателей, представили полный комплект конкурсных документов – 2331 человек. Учитывая отклонение заявок по формальному признаку, всего допущено к участию в МК-2017 2311 соискателей.

Конкурс в номинации МК остается более многочисленным по сравнению с МД, вместе с тем сохраняется наметившаяся ранее (с 2010 г.) тенденция снижения количества участников. Число конкурсантов МК-2017 по сравнению с «пиковым» 2010 годом сократилось на 1474 человека или на 38%, но незначительно выросло в сравнении с предыдущим конкурсом 2016 г. (на 76 человек или 3%).

Динамика распределения соискателей конкурсов МК по годам представлена диаграммой на рис. 1.

Анализ детализации конкурса в разрезе областей знаний по годам показал, что наибольшую активность в МК-2017 проявили молодые российские ученые таких областей знаний, как «Технические и инженерные науки» и «Общественные и гуманитарные науки» наименьшую – «Медицина» и «Сельскохозяйственные науки».

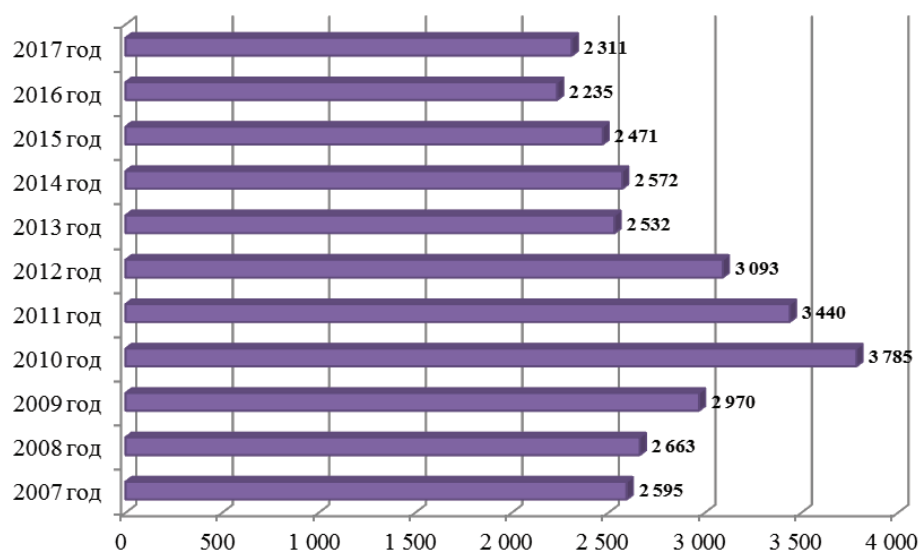
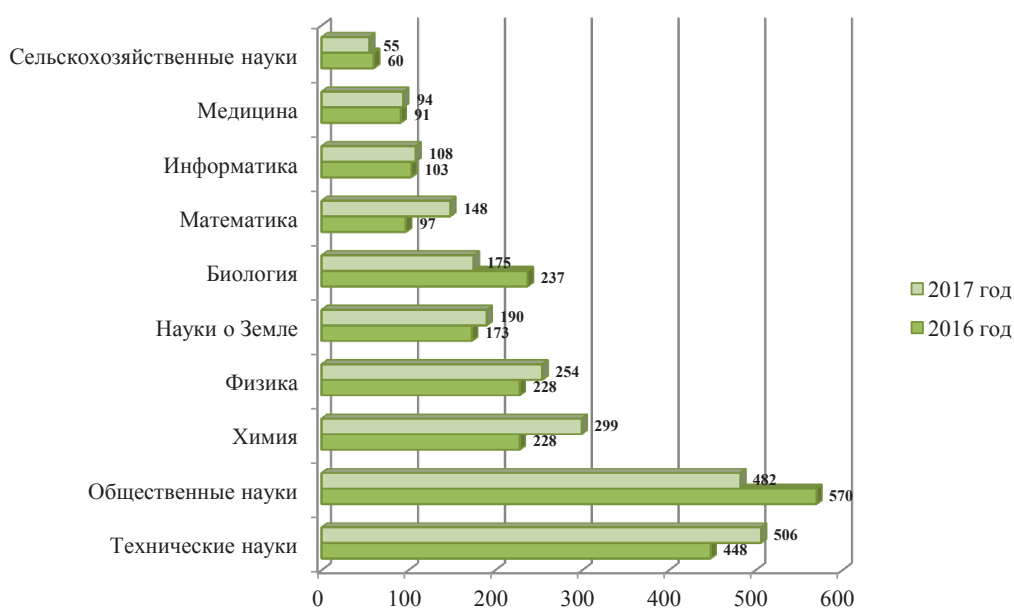


Рис. 1. Распределение соискателей конкурсов МК по годам



**Рис. 2. Распределение соискателей конкурсов МК по областям знаний по годам**

Распределение соискателей конкурсов МК по областям знаний и годам представлено диаграммой на рис. 2.

Детальная информация о распределении заявок и квот МК-2017 по областям знаний представлена на рис. 3.

В МК-2017, как и в предшествующие годы, приняли участие представители всех федеральных округов страны. Распределение соискателей и победителей МК-2017 по федеральным округам представлено на рис. 4.



**Рис. 3. Распределение заявок и квот МК-2017 по областям знаний**



Рис. 4. Распределение соискателей и победителей МК-2017 по федеральным округам

Из проведенного анализа конкурса в разрезе регионов следует, что безусловным лидером по количеству победителей МК-2017 является Москва (137 человек из 400). Значительное число победителей – из Санкт-Петербурга (46 человек), далее с практически равным количеством победителей следуют Томская и Новосибирская области (23 и 22, соответственно). Остальные 172 победителя конкурса представляют другие регионы Российской Федерации.

Данные о распределении победителей МК-2017 по регионам представлены на рис. 5. Большой интерес представляет степень участия ведомств и главных распорядителей бюджетных средств (далее – ГРБС) в МК-2017. И по числу допущенных к конкурсу ученых (1431 человек из 2311), и по количеству победителей (184 из 400) лидируют организации, подведомственные Минобрнауки России; далее, с некоторым отрывом, следуют организации, подведомственные ФАНО России (513 соискателей и 144 победителя, соответственно).

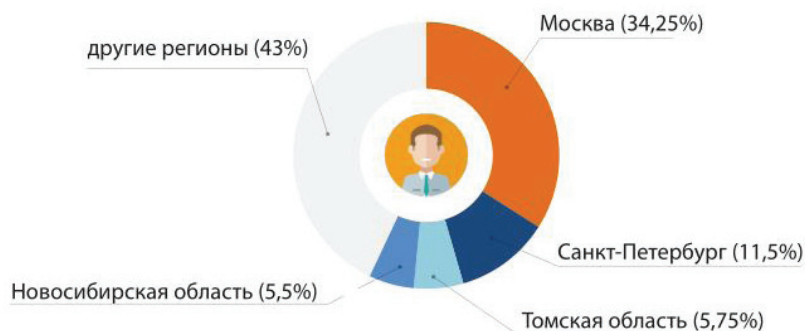
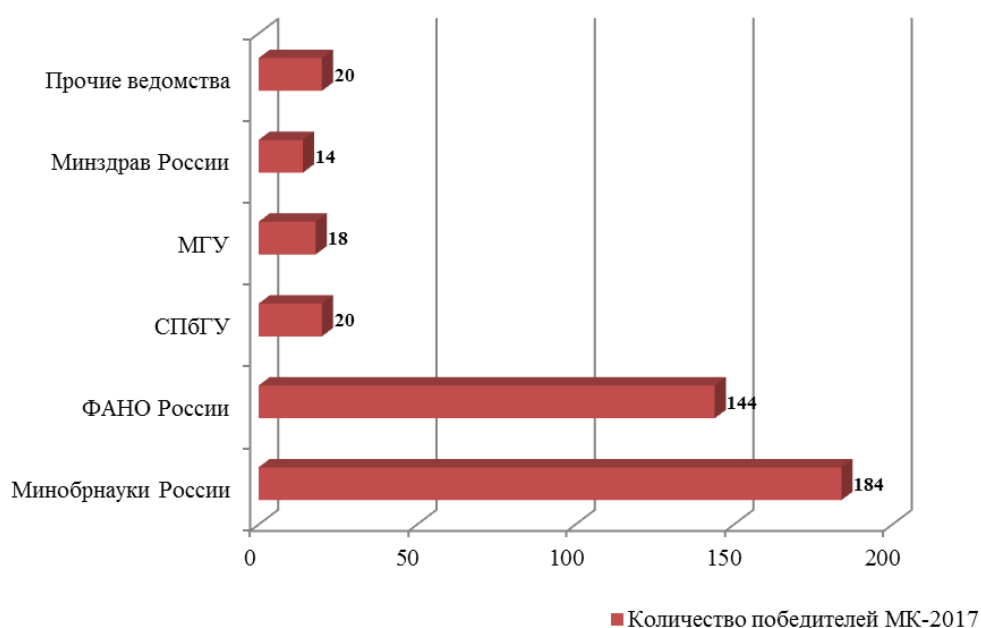


Рис. 5. Распределение победителей МК-2017 по регионам

Информация о распределении победителей МК-2017 по ведомствам и ГРБС представлена на диаграммой на рис. 6.



**Рис. 6. Распределение победителей МК-2017 по ведомствам и ГРБС**

Следует отметить устойчивую тенденцию распределения победителей по ведомствам и ГРБС, если рассматривать динамику по годам. В среднем, ежегодно около 40% от общего числа победителей (выборка с 2013 г.) — представители организаций, подведомственных Минобрнауки России и ФАНО России (до 2014 года — Российская академия наук).

По объективным причинам конкурс МД является немногочисленным по числу участников. При этом динамика количества конкурсантов по годам несколько отличается от таковой по конкурсу МК. Так, наметившаяся в 2015 г. тенденция роста (в конкурсе МД 2015 года впервые за несколько лет, с 2011 года, имел место «скачок» в 12% по сравнению с конкурсом МД 2014 года) не нашла своего продолжения. В МД-2017 число участников сократилось по сравнению с предыдущим, 2016 годом, на 51 человека или на 19%. По сравнению с «пиковым» 2011 годом общее снижение активности соискателей составило 49%.

В заявочной кампании МД-2017 зарегистрировалось 290 соискателей, представили полный комплект конкурсных документов 218 человек. Учитывая отклонение по формальному признаку, к участию в конкурсе допущено 216 соискателей.

Распределение соискателей конкурсов МД по годам — на рис. 7.

В части распределения по областям знаний ситуация аналогична МК-2017: наибольшее количество соискателей в областях знаний «Общественные и гуманитарные науки», «Технические и инженерные науки» и «Медицина», а минимальное — в «Сельскохозяйственных науках», что имеет объективный характер, так как в самостоятельное направление «Сельскохозяйственные науки» выделены только с 2016 г.

Обобщенные сведения о распределении количества соискателей конкурса МД по областям знаний и годам представлены диаграммой на рис. 8.

Детальная информация о распределении заявок и квот МД-2017 по областям знаний представлена на рис. 9.

Если рассматривать территориальное распределение заявок соискателей и победителей конкурса МД-2017, то следует отметить, что представлены все федеральные округа Российской Федерации. В разрезе регионов лидируют Москва (46 заявок из 216 и 16 победителей из 60, соответственно) и Санкт-Петербург (19 заявок и 7 победителей, соответственно).

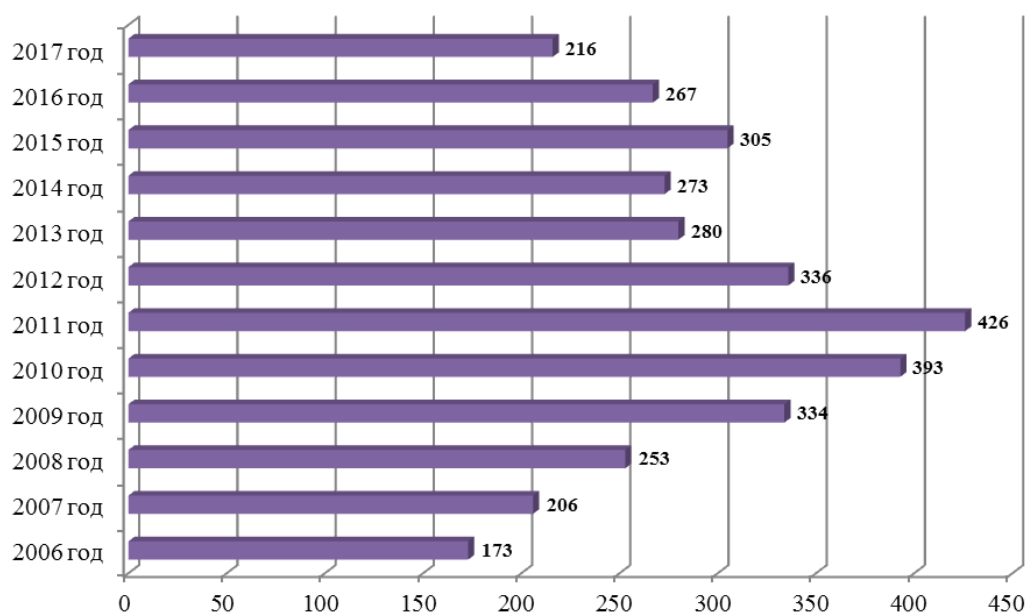


Рис. 7. Распределение соискателей конкурсов МД по годам

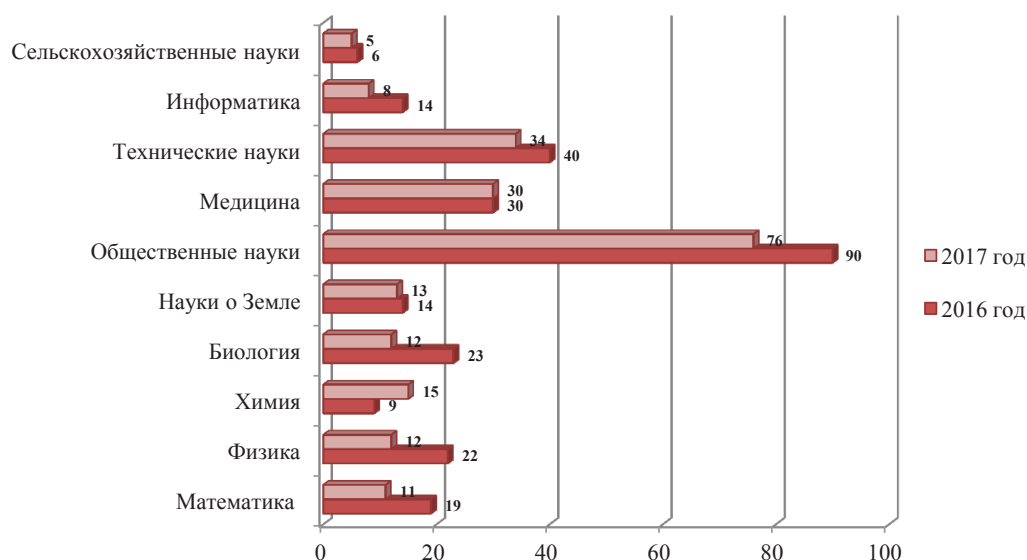


Рис. 8. Распределение соискателей конкурсов МД по областям знаний и годам

Детальная информация о распределении соискателей и победителей МД-2017 по федеральным округам представлена на рис. 10.

Степень участия ведомств и ГРБС в МД-2017 не отличается от таковой в МК-2017. Абсолютные лидирующие позиции, как по количеству допущенных к конкурсу ученых, так и по количеству победителей, занимают организации, подведомственные Минобрнауки России (62% среди заявок соискателей и 48% среди победителей). Второе место занимают организации, подведомственные ФАНО России (11% и 20%, соответственно). Далее по убыванию

количества победителей следуют организации, подведомственные Минздраву России, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный университет и другие ведомства.



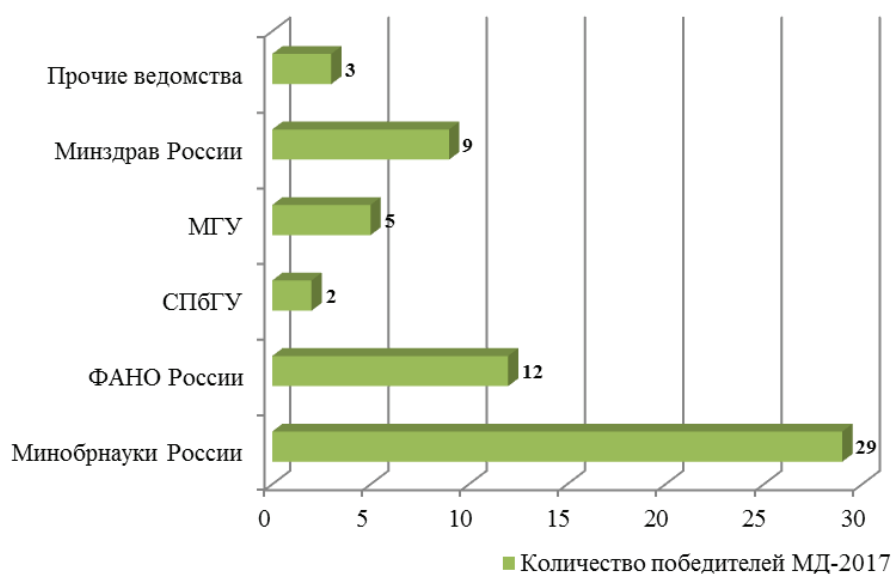
Рис. 9. Распределение заявок и квот МД-2017 по областям знаний



Рис. 10. Распределение соискателей и победителей МД-2017 по федеральным округам

Распределение победителей МД-2017 по ведомствам и ГРБС представлено диаграммой на рис. 11.





**Рис. 11. Распределение победителей МД-2017 по ведомствам и ГРБС**

Оценка показателей публикационной активности соискателей продолжала оставаться актуальной задачей при проведении конкурсов 2017 г.

Сводные данные о публикационной активности соискателей и победителей конкурсов 2017 года представлены в табл. 1, о количестве представленных публикаций, индексируемых в WoS и Scopus — в табл. 2.

Таблица 1

**Обобщенные сведения о среднем количестве публикаций соискателей и победителей конкурсов 2017 г.**

| Область знаний             | Доктора наук                                   |                                                 | Кандидаты наук                                 |                                                 |
|----------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                            | Среднее количество публикаций среди участников | Среднее количество публикаций среди победителей | Среднее количество публикаций среди участников | Среднее количество публикаций среди победителей |
| Химия                      | 50.8                                           | 36                                              | 20.64                                          | 28.73                                           |
| Физика                     | 44.75                                          | 57.2                                            | 20.94                                          | 32.75                                           |
| Технические науки          | 44.47                                          | 76.42                                           | 19.89                                          | 30.54                                           |
| Науки о Земле              | 42.31                                          | 27                                              | 18.3                                           | 23.89                                           |
| Медицина                   | 37.73                                          | 22.42                                           | 21.14                                          | 18.58                                           |
| Биология                   | 34.17                                          | 43                                              | 15.86                                          | 20.97                                           |
| Общественные науки         | 33.03                                          | 36.22                                           | 18.55                                          | 25.59                                           |
| Информатика                | 21.13                                          | 24.33                                           | 17.49                                          | 25.88                                           |
| Сельскохозяйственные науки | 19.6                                           | 17.5                                            | 20.96                                          | 34.09                                           |
| Математика                 | 19.55                                          | 16.17                                           | 15.92                                          | 22.41                                           |

Таблица 2

**Обобщенные сведения о количестве публикаций победителей конкурсов 2017 г.,  
индексируемых в WoS и Scopus**

| Область знаний             | Количество публикаций |        |         |        |
|----------------------------|-----------------------|--------|---------|--------|
|                            | МК-2017               |        | МД-2017 |        |
|                            | WoS                   | Scopus | WoS     | Scopus |
| Математика                 | 134                   | 178    | 37      | 42     |
| Физика                     | 561                   | 663    | 115     | 141    |
| Химия                      | 505                   | 537    | 60      | 68     |
| Биология                   | 196                   | 233    | 58      | 62     |
| Науки о Земле              | 132                   | 192    | 9       | 17     |
| Общественные науки         | 70                    | 108    | 11      | 32     |
| Медицина                   | 30                    | 52     | 37      | 55     |
| Технические науки          | 307                   | 616    | 143     | 266    |
| Информатика                | 72                    | 129    | 21      | 33     |
| Сельскохозяйственные науки | 21                    | 46     | 8       | 3      |

Одним из критериев оценки конкурсных заявок является соответствие представленных научных исследований направлениям национальной технологической инициативы (далее – НТИ), в частности, относительно группы «Технологии», как составляющей матрицы НТИ. Обобщенные данные о количестве проектов соискателей и победителей конкурсов 2017 года, соответствующих той или иной НТИ, представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Обобщенные данные о соответствии проектов соискателей и победителей конкурсов 2017 НТИ**

| НТИ                                          | Количество проектов |                   |                  |                   |
|----------------------------------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------|
|                                              | МК-2017             |                   | МД-2017          |                   |
|                                              | Среди участников    | Среди победителей | Среди участников | Среди победителей |
| Цифровое проектирование и моделирование      | 288                 | 41                | 33               | 10                |
| Новые материалы                              | 538                 | 117               | 28               | 13                |
| Аддитивные технологии                        | 40                  | 10                | 2                | 1                 |
| Квантовые коммуникации                       | 25                  | 6                 | 0                | 0                 |
| Сенсорика                                    | 46                  | 10                | 3                | 0                 |
| Мехабиотроника                               | 6                   | 1                 | 0                | 0                 |
| Бионика                                      | 28                  | 9                 | 5                | 2                 |
| Геномика и синтетическая биология            | 85                  | 28                | 14               | 6                 |
| Нейротехнологии                              | 35                  | 12                | 9                | 4                 |
| BigData                                      | 42                  | 9                 | 7                | 0                 |
| Искусственный интеллект и системы управления | 170                 | 30                | 13               | 4                 |
| Новые источники энергии                      | 70                  | 15                | 5                | 1                 |
| Элементная база (в т. ч. процессоры)         | 52                  | 11                | 6                | 4                 |
| Не соответствует ни одной                    | 886                 | 101               | 91               | 15                |
| Итого:                                       | 2311                | 400               | 216              | 60                |

Проводимые конкурсы помогают решить две главные государственные задачи: с одной стороны, они способствуют закреплению талантливой молодежи в российских научных организациях, с другой — привлекают полных сил и идей исследователей к решению многочисленных проблем страны.

Анализ представленных результатов конкурсов 2017 года свидетельствует о сохранении интереса молодых российских ученых к такой форме государственной поддержки отечественной науки, как конкурсы на право получения грантов Президента Российской Федерации, но наблюдается уменьшение количества участников ежегодно проводимых конкурсов. При этом сохраняется устойчивая тенденция распределения проектов по областям знаний и организаций, представляющих грантополучателей, по ведомствам, федеральным округам и регионам.

Имеется позитивная производная публикаций результатов молодых российских ученых в самых высокорейтинговых журналах.

*Статья подготовлена по материалам работ, выполненных ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ в рамках Государственного задания на 2017 год, проект 2.4428.2017/НМ.*

## АНАЛИЗ ГЛОБАЛЬНЫХ РАСХОДОВ НА ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ В 2014–2016 ГОДАХ

**Д.Б. Изюмов**, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [izyumov@extech.ru](mailto:izyumov@extech.ru)

**Е.Л. Кондратюк**, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [kel@extech.ru](mailto:kel@extech.ru)

*В статье рассмотрены глобальные расходы на исследования и разработки в 2014–2016 годах, представлены тенденции их изменения в ведущих странах мира, включая Российскую Федерацию. Дан краткий экономический анализ наметившихся трендов.*

**Ключевые слова:** глобальные расходы на исследования и разработки, доля исследований и разработок в ВВП ведущих стран мира, анализ, тенденции.

## ANALYSIS OF GLOBAL EXPENDITURE ON RESEARCH AND DEVELOPMENT IN 2014-2016

**D.B. Izyumov**, Head of Department, SRI FRCEC, [izyumov@extech.ru](mailto:izyumov@extech.ru)

**E.L. Kondratyuk**, Senior Researcher, SRI FRCEC, [kel@extech.ru](mailto:kel@extech.ru)

*The article discusses the global costs of research and development in 2011-2016, presents trends in their change in the world's leading countries, including the Russian Federation. A brief economic analysis of the emerging trends is given.*

**Keywords:** global expenditures on research and development, share of research and development in the GDP of the leading countries of the world, analysis, trends.

Процесс проведения исследований и разработок (ИиР) определяется как создание новых продуктов, процессов и технологий, которые могут быть использованы и реализованы на благо человечества в будущем. Затраты на ИиР, их направленность, количество задействованных исследователей и другие показатели в любом государстве зависят от многих факторов, включая внутренние и внешние политические, экономические и иные. Анализ глобальных затрат на ИиР в 2014–2016 гг., проведенный Институтом промышленных исследований США (Industrial Research Institute – IRI) показал, что инвестиции в ИиР увеличились на 3,5% в 2016 году (по сравнению с 2015 г.) и составили 1,948 трлн долл. Более чем в 110 странах финансирование собственных исследований и разработок составило свыше 100 млн долл. в год. Как и в предыдущие годы, рост глобальных инвестиций в ИиР в основном определяется расходами стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), и в частности, Китая. Из анализа табл. 1 видно, что на страны АТР (включая Китай, Японию, Индию и Республику Корея) в последние 3 года приходилось более 40% всех глобальных инвестиций в ИиР, по сравнению с североамериканскими, составляющими менее 30% и европейскими – немногим более 20% [1].

В настоящее время Северная Америка (включая США) и Европа ежегодно продолжают терять позиции в рейтинге регионов с наибольшим финансированием исследований. Так, с начала 2000-х годов инвестиции Китая в ИиР имели показатели роста не менее 10% в год (например, 12% в 2010 г., 14,2% в 2012 г.) и только в 2016 г. отмечалось замедление темпов роста – менее 7% по сравнению с предыдущим годом. Несмотря на это, даже такое ежегодное увеличение финансирования существенно превышает темпы роста США и Европы, находящихся в диапазоне от 2% до 3%. В остальных регионах (Россия, страны Африки, Южной Америки, Ближнего и Среднего Востока) в среднем увеличение финансирования в

ИиР составляет лишь около 1,5% в год. Уровень затрат на исследования во многом обусловлен экономическим ростом, который определяется величиной валового внутреннего продукта (ВВП). Рост ВВП, по оценкам Международного валютного фонда (МВФ), в 2016 году в Китае составил 6,3%, в США — 2,8% и значительно меньше в европейских странах. По оценкам многих зарубежных экспертов, рост ВВП Китая в ближайшем будущем по-прежнему будет значительно больше, чем у их потенциальных конкурентов. Так, например, соизмеримый по ежегодному увеличению ВВП Индии составил 7,3% в 2015 г. и 7,5% в 2016 г., но сам размер ВВП значительно меньше, чем у Китая или США и, соответственно, их инвестиции в ИиР (менее 1% от ВВП) (табл. 2) [2, 3].

Таблица 1

**Доля расходов различных регионов мира в общемировых расходах на исследования и разработки**

| Название региона         | Доля в общемировых расходах по годам, % |      |      |
|--------------------------|-----------------------------------------|------|------|
|                          | 2014                                    | 2015 | 2016 |
| Северная Америка         | 29,2                                    | 28,6 | 28,4 |
| США                      | 27                                      | 26,5 | 26,5 |
| Страны АТР               | 40,2                                    | 41,2 | 41,8 |
| Китай                    | 19,1                                    | 19,8 | 20,4 |
| Европа                   | 21,5                                    | 21,3 | 21,0 |
| Россия и СНГ             | 3,1                                     | 2,9  | 2,8  |
| Южная Америка            | 2,8                                     | 2,6  | 2,6  |
| Ближний и Средний Восток | 2,2                                     | 2,3  | 2,3  |
| Африка                   | 1,0                                     | 1,1  | 1,1  |
| Итого                    | 100                                     | 100  | 100  |

В табл. 2 представлен рейтинг 40 ведущих стран мира по величине финансирования ИиР в 2014–2016 гг. по данным изданий «Battelle», «RиD Magazine», «Wld Factbook», Международного валютного фонда и Всемирного банка. Для сравнения показан уровень ВВП по паритету покупательной способности (ППС) указанных стран и их долевая часть расходов на ИиР в ВВП. Как видно, Россия входит в первую десятку стран, занимая 8 место, поднявшись за последние пять лет с 11-го места [4].

Благодаря наметившейся в последние годы тенденции значительного роста ВВП Индии, а также значительной заинтересованности руководства страны в проведении большего числа исследований и разработок, Индия в настоящий момент занимает шестое место в мире по величине затрат на ИиР. Потенциально Индия имеет все возможности превзойти Республику Корея (5 место в мире) и Германию (4 место в мире) по общему объему инвестиций в исследования уже к 2018 г.

Китай, несмотря на замедление роста ВВП, имеет хорошо проработанную программу инвестирования в ИиР — Пятилетние Планы развития, которые обеспечат стране доминирование на мировой арене в области ИиР в обозримом будущем. В 13-ом Пятилетнем Плане (на 2016–2020 гг.) указывается, что ежегодное увеличение значения показателя годового ВВП должен составлять 7%, что является приемлемым и позволит обеспечить интенсивный рост экономики государства. Ожидается, что Китай опередит США по размеру общих годовых расходов на ИиР к 2026 г. и продолжит увеличивать данный разрыв после.

Таблица 2

**Расходы на исследования и разработки и их доля от ВВП по паритету покупательной способности ведущих стран мира за 2014–2016 гг.**

| Рей-<br>тинг | Страна              | ВВП<br>по ППС<br>в 2014 г.,<br>млрд долл. | Расходы<br>на ИиР<br>в 2014 г.,<br>млрд долл. | Доля<br>расходов на<br>ИиР от ВВП<br>в 2014 г., % | ВВП<br>по ППС<br>в 2015 г.,<br>млрд долл. | Расходы<br>на ИиР<br>в 2015 г.,<br>млрд долл. | Доля<br>расходов на<br>ИиР от ВВП<br>в 2015 г., % | ВВП<br>по ППС<br>в 2016 г.,<br>млрд долл. | Расходы<br>на ИиР<br>в 2016 г.,<br>млрд долл. | Доля<br>расходов на<br>ИиР от ВВП<br>в 2016 г., % |
|--------------|---------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1            | США                 | 17 460                                    | 485,4                                         | 2,78                                              | 18 001                                    | 496,8                                         | 2,76                                              | 18 559                                    | 514,0                                         | 2,77                                              |
| 2            | Китай               | 17 630                                    | 343,8                                         | 1,95                                              | 18 828                                    | 372,8                                         | 1,98                                              | 20 015                                    | 396,3                                         | 1,98                                              |
| 3            | Япония              | 4 807                                     | 163,4                                         | 3,40                                              | 4 885                                     | 164,6                                         | 3,39                                              | 4 913                                     | 166,6                                         | 3,39                                              |
| 4            | Германия            | 3 621                                     | 103,2                                         | 2,85                                              | 3 678                                     | 107,4                                         | 2,92                                              | 3 741                                     | 109,3                                         | 2,92                                              |
| 5            | Южная<br>Корея      | 1 786                                     | 64,3                                          | 3,60                                              | 1 844                                     | 74,5                                          | 4,04                                              | 1 909                                     | 77,1                                          | 4,04                                              |
| 6            | Индия               | 7 277                                     | 61,9                                          | 0,85                                              | 7 822                                     | 66,5                                          | 0,85                                              | 8 409                                     | 71,5                                          | 0,85                                              |
| 7            | Франция             | 2 587                                     | 58,2                                          | 2,25                                              | 2 618                                     | 59,2                                          | 2,26                                              | 2 657                                     | 60,1                                          | 2,26                                              |
| 8            | Россия              | 3 568                                     | 53,5                                          | 1,50                                              | 3 432                                     | 51,5                                          | 1,50                                              | 3 396                                     | 50,9                                          | 1,50                                              |
| 9            | Великобри-<br>тания | 2 435                                     | 44,1                                          | 1,81                                              | 2 500                                     | 44,5                                          | 1,78                                              | 2 558                                     | 45,5                                          | 1,78                                              |
| 10           | Бразилия            | 3 073                                     | 37,2                                          | 1,21                                              | 3 042                                     | 36,8                                          | 1,21                                              | 3 072                                     | 37,2                                          | 1,21                                              |
| 11           | Канада              | 1 579                                     | 30,0                                          | 1,90                                              | 1 613                                     | 28,9                                          | 1,79                                              | 1 646                                     | 29,5                                          | 1,79                                              |
| 12           | Австралия           | 1 100                                     | 24,8                                          | 2,25                                              | 1 130                                     | 27,0                                          | 2,39                                              | 1 167                                     | 27,9                                          | 2,39                                              |
| 13           | Италия              | 2 066                                     | 24,8                                          | 1,20                                              | 2 076                                     | 26,4                                          | 1,27                                              | 2 099                                     | 26,7                                          | 1,27                                              |
| 14           | Тайвань             | 1 022                                     | 24,0                                          | 2,35                                              | 1 060                                     | 24,9                                          | 2,35                                              | 1 104                                     | 25,9                                          | 2,35                                              |
| 15           | Испания             | 1 534                                     | 19,2                                          | 1,25                                              | 1 572                                     | 20,4                                          | 1,30                                              | 1 603                                     | 20,9                                          | 1,30                                              |
| 16           | Нидерланды          | 798                                       | 16,6                                          | 2,08                                              | 710                                       | 17,5                                          | 2,16                                              | 823                                       | 17,8                                          | 2,16                                              |
| 17           | Швеция              | 434                                       | 14,8                                          | 3,40                                              | 445                                       | 15,2                                          | 3,41                                              | 458                                       | 15,6                                          | 3,41                                              |
| 18           | Турция              | 1 512                                     | 13,3                                          | 0,88                                              | 1 558                                     | 13,4                                          | 0,86                                              | 1 615                                     | 13,9                                          | 0,86                                              |
| 19           | Швейцария           | 444                                       | 12,9                                          | 2,9                                               | 448                                       | 13,0                                          | 2,90                                              | 453                                       | 13,2                                          | 2,90                                              |



Продолжение таблицы 2

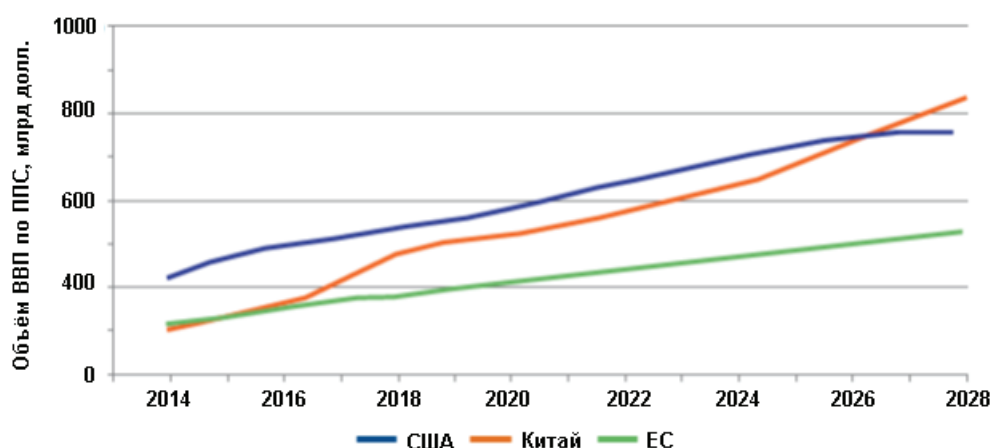
| Рей-<br>тинг | Страна               | ВВП<br>по ППС<br>в 2014 г.,<br>млрд долл. | Расходы<br>на ИиР<br>в 2014 г.,<br>млрд долл. | Доля<br>расходов на<br>ИиР от ВВП<br>в 2014 г., % | ВВП<br>по ППС<br>в 2015 г.,<br>млрд долл. | Расходы<br>на ИиР<br>в 2015 г.,<br>млрд долл. | Доля<br>расходов на<br>ИиР от ВВП<br>в 2015 г., % | ВВП<br>по ППС<br>в 2016 г.,<br>млрд долл. | Расходы<br>на ИиР<br>в 2016 г.,<br>млрд долл. | Доля<br>расходов на<br>ИиР от ВВП<br>в 2016 г., % |
|--------------|----------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 20           | Сингапур             | 445                                       | 11,8                                          | 2,65                                              | 458                                       | 11,9                                          | 2,60                                              | 472                                       | 12,3                                          | 2,60                                              |
| 21           | Иран                 | 1 284                                     | 10,8                                          | 0,84                                              | 1 291                                     | 11,6                                          | 0,90                                              | 1 308                                     | 11,8                                          | 0,90                                              |
| 22           | Израиль              | 268                                       | 11,1                                          | 4,2                                               | 277                                       | 10,9                                          | 3,93                                              | 286                                       | 11,3                                          | 3,93                                              |
| 23           | Австрия              | 386                                       | 10,6                                          | 2,75                                              | 390                                       | 11,1                                          | 2,84                                              | 396                                       | 11,3                                          | 2,84                                              |
| 24           | Бельгия              | 467                                       | 9,5                                           | 2,04                                              | 473                                       | 10,6                                          | 2,24                                              | 480                                       | 10,8                                          | 2,24                                              |
| 25           | Мексика              | 2 143                                     | 9,6                                           | 0,45                                              | 2 207                                     | 9,9                                           | 0,45                                              | 2 280                                     | 10,3                                          | 0,45                                              |
| 26           | Катар                | 323                                       | 8,7                                           | 2,70                                              | 346                                       | 9,3                                           | 2,70                                              | 368                                       | 9,9                                           | 2,70                                              |
| 27           | Польша               | 941                                       | 7,5                                           | 0,80                                              | 974                                       | 8,8                                           | 0,90                                              | 1 008                                     | 9,1                                           | 0,90                                              |
| 28           | Малайзия             | 746                                       | 5,9                                           | 0,80                                              | 782                                       | 8,4                                           | 1,07                                              | 820                                       | 8,8                                           | 1,07                                              |
| 29           | Финляндия            | 221                                       | 7,8                                           | 3,50                                              | 223                                       | 7,9                                           | 3,55                                              | 226                                       | 8,0                                           | 3,55                                              |
| 30           | Дания                | 248                                       | 7,2                                           | 2,90                                              | 252                                       | 7,5                                           | 2,98                                              | 257                                       | 7,7                                           | 2,98                                              |
| 31           | Пакистан             | 884                                       | 6,2                                           | 0,70                                              | 922                                       | 6,9                                           | 0,75                                              | 965                                       | 7,2                                           | 0,75                                              |
| 32           | Саудовская<br>Аравия | 1 616                                     | 5,2                                           | 0,32                                              | 1 664                                     | 6,7                                           | 0,40                                              | 1 709                                     | 6,8                                           | 0,40                                              |
| 33           | ЮАР                  | 683                                       | 6,5                                           | 0,95                                              | 696                                       | 6,6                                           | 0,95                                              | 711                                       | 6,8                                           | 0,95                                              |
| 34           | Чехия                | 299                                       | 5,4                                           | 1,80                                              | 307                                       | 5,8                                           | 1,88                                              | 315                                       | 5,9                                           | 1,88                                              |
| 35           | Норвегия             | 339                                       | 5,6                                           | 1,65                                              | 342                                       | 5,7                                           | 1,65                                              | 348                                       | 5,7                                           | 1,65                                              |
| 36           | Аргентина            | 927                                       | 5,8                                           | 0,62                                              | 924                                       | 5,7                                           | 0,62                                              | 925                                       | 5,7                                           | 0,62                                              |
| 37           | Индонезия            | 2 554                                     | 5,6                                           | 0,22                                              | 1 445                                     | 4,3                                           | 0,30                                              | 1 524                                     | 4,6                                           | 0,30                                              |
| 38           | Египет               | 945                                       | 2,3                                           | 0,24                                              | 983                                       | 4,2                                           | 0,43                                              | 1 025                                     | 4,4                                           | 0,43                                              |
| 39           | Бангладеш            | 535                                       | 3,8                                           | 0,70                                              | 571                                       | 4,0                                           | 0,70                                              | 609                                       | 4,3                                           | 0,70                                              |
| 40           | Португалия           | 276                                       | 3,9                                           | 1,4                                               | 280                                       | 4,2                                           | 1,50                                              | 284                                       | 4,3                                           | 1,50                                              |

Анализ инвестиций в определенные направления науки, технологий и техники показывает, что КНР планирует занять в ближайшие 10 лет лидирующие позиции в следующих отраслях:

- новые материалы и нанотехнологии;
- сельское хозяйство и пищевая промышленность;
- информационно-телекоммуникационные технологии (ИКТ);
- энергетика;
- военные исследования и национальная безопасность.

Помимо перечисленных направлений, в настоящее время КНР является одним из мировых лидеров в области производства дешевой электроники (зависимость от китайских электронных компонентов в мире достигает до 90%), что негативно сказывается на развитии высокотехнологичных отраслей не только США и Европы, но и России.

Предполагаемая трансформация Китая в ведущую мировую державу связана, в первую очередь, с высокими темпами роста экономики (по данным Всемирного банка около 10% за последние 30 лет) и ее долгосрочной направленностью. По данным Института промышленных исследований США, начиная с 2026 г., ВВП Китая по ППС превысит объем ВВП США. Китай в дальнейшем разрешит основные проблемы неэкономического характера (например, повысит уровень научно-технологического развития, разрешит экологические противоречия, проблему дефицита ресурсов, демографии и т.п.) и станет мировым лидером в области развития ИиР (рис. 1) [1].



**Рис. 1. Соотношение экономик США, Китая и стран Евросоюза по паритету покупательной способности (ППС)**

Несмотря на оптимистичные прогнозы для Китая, экономические кризисы последних десяти лет стали серьезным испытанием для всех государств, включая и КНР. Стоит отметить, что только США, во многом благодаря высокому уровню развития науки и технологий, вышли из кризиса лучше в сравнении с экономиками других ведущих стран. В отличие от ЕС и Японии, добавленная стоимость на произведенные высокотехнологичные товары в США в последние годы выросла, превзойдя докризисный уровень (кризис 2008 г.). Несмотря на то, что главной тенденцией в настоящее время являются возросшие инновационные возможности растущих экономик, США остаются лидерами в сфере финансирования исследований и разработок. Так, США инвестируют в ИиР как минимум в 2 раза больше, чем любая другая отдельно взятая страна в мире (табл. 2).

Анализ метрических показателей, характеризующих уровень проводимых исследований, показывает, что США лидируют в высококачественных исследовательских публикациях, патентной активности, доходах от экспорта интеллектуальной собственности. Можно предположить, что в случае, если в среднесрочной перспективе произойдет новый глобальный финансово-экономический кризис, то данный факт, вероятнее всего, позволит США «отбросить» Китай и развивающиеся страны назад по уровню развития науки и технологий.

В США одним из главных приоритетов является поощрение научно-технического прогресса. В официальных правительственных документах капиталовложения в исследования и разработки именуются «инвестициями в будущее», а инновационная деятельность рассматривается как один из наиболее эффективных способов достижения стратегических целей.

Доминирование США в сфере ИиР наблюдалось в 2015 и 2016 гг. Несмотря на ограничения общих расходов, введенных федеральным правительством на ИиР, инвестиции в исследования имеют тенденцию роста последние пять лет. Однако данные негативные аспекты не сильно влияют на общую картину — поддержка ИиР в США продолжает оставаться наиболее существенной в мире — свыше четверти всех глобальных расходов на ИиР. Исследовательские программы на 65% поддерживаются промышленностью, на 25% федеральным правительством и около 10% составляют академические (некоммерческие) инвестиции.

В настоящее время имеются существенные изменения в направленности финансирования областей ИиР представителями промышленности США. Так, например, направление «Науки о жизни», которое более десяти лет было крупнейшим объектом финансирования, сейчас показывает спад инвестиционной активности. В 2016 году многие из крупных игроков в этом секторе — такие компании как Novartis, Pfizer, Merck, Sanofi, Astra Zeneca, Eli Lilly, Glaxo Smith Kline, Bristol-Myers Squibb и другие (не все перечисленные компании являются американскими, но у многих из них контрольный пакет акций принадлежит представителям бизнеса из США) — существенно снизили объемы финансирования ИиР. По мнению финансовых аналитиков, в настоящее время со стороны американских инвесторов сократятся многомиллиардные ежегодные инвестиции в данное направление. Это связано с ужесточением национального законодательства, регламентирующего отрасль, и существенным снижением спроса на дорогостоящие препараты в мире. Эти обстоятельства повлекут, скорее всего, экономический спад в направлении и как следствие повлияют на дальнейшую возможность продолжать финансирование крупномасштабных исследовательских программ представителями промышленности.

В других областях, таких как «автомобилестроение» американские автомобильные гиганты, имевшие до 2016 г. динамику увеличения общих расходов на ИиР, ожидает дальнейшее увеличение числа их исследовательских программ. Однако в данном случае рост числа ИиР связан, в первую очередь, с разработкой электрических и гибридных силовых установок, автоматизированных систем управления и интегрируемых электронных систем. Увеличение количества исследований в автомобильной области происходит также благодаря появлению новых транспортных средств с меньшими расходами на эксплуатацию.

Фактические размеры инвестиций в ИиР, особенно на ближайшие годы, тесно связаны с бюджетом США, участие в подготовке которого принимают и представители крупных корпораций. Однако у представителей бизнеса есть своя заинтересованность — влияние на тематику долгосрочных ИиР, финансируемых за счет бюджетных средств.

В соответствии с бюджетом 2016 г., в США на фундаментальные исследования было израсходовано на 6% больше средств, чем в 2015 г. (146 млрд долл.). В бюджете эти средства распределены примерно поровну: на военные и гражданские исследовательские программы. Отмечается увеличение на 13% расходов на ИиР Министерства обороны (Department of Defence — DoD). Финансирование программ поддержки альтернативной энергетики, курируемых Министерством энергетики США (Department of Energy — DoE), увеличено на 13,8% (29,2 млрд долл.). На поддержку исследований в области медицины выделено 31,3 млрд

долл. Бюджет Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) (National Aeronautics and Space Administration – NASA) составляет около 18,5 млрд долл.

Вопросам поддержки научно-технологического развития значительное внимание уделяется на ведомственном уровне. Так, например, Министерство энергетики США объявило о создании на базе Технического университета штата Калифорния нового технологического института с объемом бюджетного финансирования 70 млн долл. и соответствующим объемом финансирования со стороны частных инвесторов. В случае, если США продолжат осуществлять финансирование ИиР на таком же уровне, что и в настоящее время, они будут занимать лидирующие позиции в различных областях науки, технологий и промышленности. Однако федеральные расходы США на исследования и разработки в настоящий момент достаточно нестабильны ввиду давления, оказываемого на бюджет со стороны представителей Министерства обороны.

Необходимо обратить внимание, что отмечаемый экспертами рост инвестиций США в такие области, как сельское хозяйство, материаловедение и нанотехнологии, науки о жизни и ИКТ, имеет и политический оттенок. Это именно те области, на которые КНР и Россия возлагают большие надежды и осуществляют их значительную поддержку.

Третьей крупнейшей мировой державой по расходам на ИиР является Япония. Она замыкает тройку лидеров, годовой бюджет федеральных расходов на ИиР в которых превышает в последние годы 160 млрд долл. Ее ближайший преследователь – Германия – израсходовала в 2016 г. на ИиР 109 млрд долл. (табл. 2). На рис. 3 графически представлены размеры расходов на ИиР десяти ведущих стран мира [4].

Среди европейских государств Германия в условиях бюджетного кризиса ряда стран ЕС является наиболее стабильной по экономическим показателям, уверенно занимая четвертую позицию в мире. Так же как и в США, доля расходов на ИиР в Германии в последние годы поддерживается на уровне не ниже 2,8% (см. табл. 3).

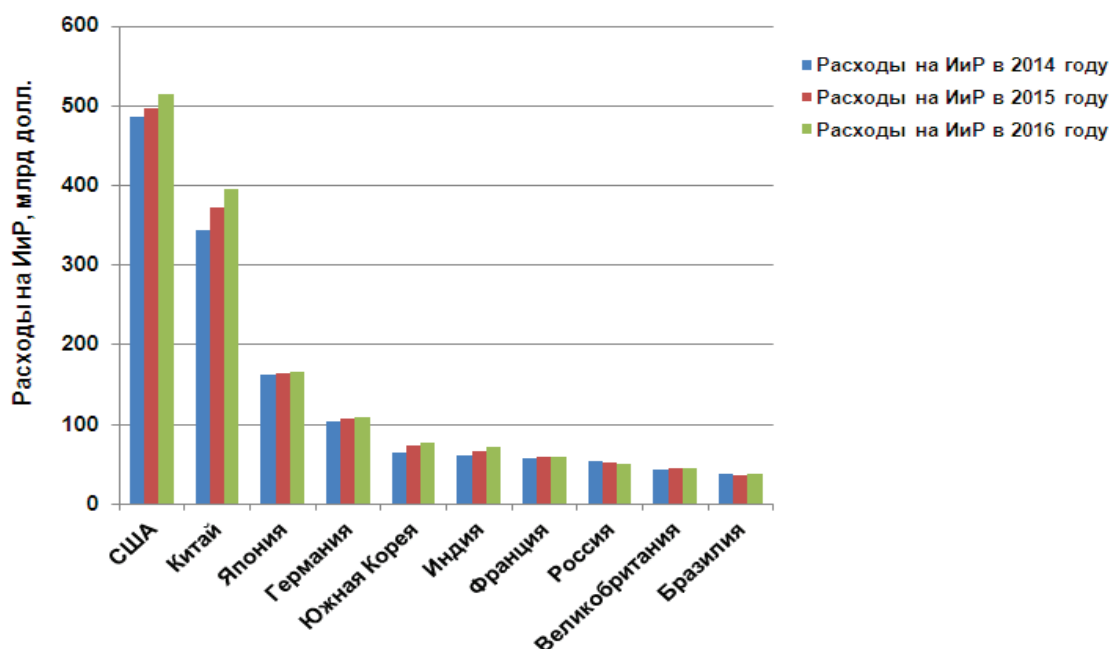


Рис. 2. Рейтинг 10 ведущих стран мира по величине расходов на исследования и разработки

Отдельно стоит выделить государства, ежегодные расходы на ИиР в которых составляют около 3,5% и более в ВВП страны: Японию, Республику Корея, Швецию, Израиль и Финляндию. Данная группа стран относится к технологически высокоразвитым державам в следующих областях: электроника, автомобиле- и машиностроение, промышленное роботостроение (Япония, Южная Корея и Израиль); оптика, физика полупроводников и металлов (Япония); низкотемпературная физика, нейрохирургия, биотехнологии и генная инженерия (Финляндия); фармацевтика и телекоммуникации (Швеция) [4].

В табл. 3 представлены данные об уровне расходов ведущих стран в основные исследовательские направления. Цветом отмечены наибольшие доли среди мировых инвестиций в различные области: зеленым – наибольшие расходы, синим – второе место по уровню расходов и красным – третье место. Среди европейских государств Германия в условиях бюджетного кризиса ряда стран ЕС является наиболее стабильной по экономическим показателям, уверенно занимая четвертую позицию в мире. Так же как и в США, доля расходов на ИиР в Германии в последние годы поддерживается на уровне не ниже 2,8% (см. табл. 3).

Таблица 3

**Позиции ведущих зарубежных стран и России по областям научно-технологического развития**

| Научно-технологическая область                                                   | Доля мировых расходов, % |       |         |     |        |        |          |                |               |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|---------|-----|--------|--------|----------|----------------|---------------|
|                                                                                  | США                      | Китай | Франция | ФРГ | Япония | Россия | Ю. Корея | Великобритания | Другие страны |
| Новые материалы                                                                  | 59                       | 15    | 1       | 12  | 7      | 1      | 2        | 2              | 2             |
| Сельское хозяйство и пищевая промышленность                                      | 68                       | 10    | 3       | 5   | 2      | 1      | 1        | 1              | 10            |
| Автомобилестроение                                                               | 22                       | 6     | 1       | 29  | 32     | 0      | 8        | 0              | 2             |
| Коммерческое спутникостроение и вывод космических аппаратов в коммерческих целях | 62                       | 3     | 10      | 6   | 1      | 13     | 1        | 2              | 2             |
| Информационно-телекоммуникационные технологии                                    | 57                       | 13    | 0       | 2   | 13     | 0      | 4        | 4              | 6             |
| Энергетика                                                                       | 49                       | 10    | 3       | 20  | 7      | 1      | 1        | 1              | 8             |
| Экология и окружающая среда                                                      | 37                       | 1     | 6       | 26  | 8      | 1      | 2        | 6              | 12            |
| Метрология и приборостроение                                                     | 41                       | 9     | 1       | 14  | 22     | 1      | 9        | 1              | 2             |
| Науки о жизни                                                                    | 43                       | 2     | 7       | 18  | 7      | 0      | 2        | 9              | 12            |
| Национальная безопасность и военные расходы                                      | 78                       | 6     | 1       | 1   | 0      | 11     | 1        | 1              | 2             |
| Биотехнологии и фармацевтика                                                     | 56                       | 4     | 3       | 16  | 5      | 1      | 1        | 7              | 8             |

Отдельно стоит выделить государства, ежегодные расходы на ИиР в которых составляют около 3,5% и более в ВВП страны: Японию, Республику Корея, Швецию, Израиль и Финляндию. Данная группа стран относится к технологически высокоразвитым державам в следующих областях: электроника, автомобиле- и машиностроение, промышленное роботостроение (Япония, Южная Корея и Израиль); оптика, физика полупроводников и металлов (Япония); низкотемпературная физика, нейрохирургия, биотехнологии и генная инженерия (Финляндия); фармацевтика и телекоммуникации (Швеция) [4].

В табл. 3 представлены данные об уровне расходов ведущих стран в основные исследовательские направления. Цветом отмечены наибольшие доли среди мировых инвестиций в различные области: зеленым – наибольшие расходы, синим – второе место по уровню расходов и красным – третье место.

На основе глобального опроса исследователей, проведенного сотрудниками журнала «R&D Magazine» совместно с Институтом промышленных исследований США, большинство респондентов (77%) отметили, что финансирование ИиР улучшилось в 2014–2016 гг., и только 8% отметили небольшое снижение расходов. Многие из респондентов (56%) также указали, что количество ИиР увеличилось в тот же период, в то время как 15% сообщили о сокращении числа исследований. Среднесрочный прогноз, разработанный на основании результатов опроса, выглядит не столь позитивным, как можно было бы ожидать. Чуть более половины респондентов (57%) ожидают увеличения финансирования ИиР до 2020 г. Остальные участники опроса (11%) высказали предположения о снижении расходов, 31% опрошенных считают, что объем финансирования ИиР останется на прежнем уровне. Между тем, большинство исследователей указали, что результаты их исследований и разработок оказались успешными в 2014–2016 гг. и лишь немногие (6%) отметили, что их исследования потерпели неудачу.

Особенно информативно и наглядно представлено отношение количества исследователей на 1 млн чел. населения стран в совокупности с затратами на ИиР к ВВП государства на инфографике (рис. 3). На рисунке чем выше по оси ординат страна, тем больше исследователей на 1 млн чел. (например, лидеры – Финляндия, Сингапур, Дания). В свою очередь, чем правее по оси абсцисс, тем выше доля финансирования ИиР в ее валовом внутреннем продукте (Израиль, Финляндия, Швеция). Диаметр окружностей характеризует абсолютную величину затрат на исследования в 2016 г., т. е. чем больше диаметр окружности, тем больше государство выделяет средств на проведение ИиР (США, Китай, Япония).

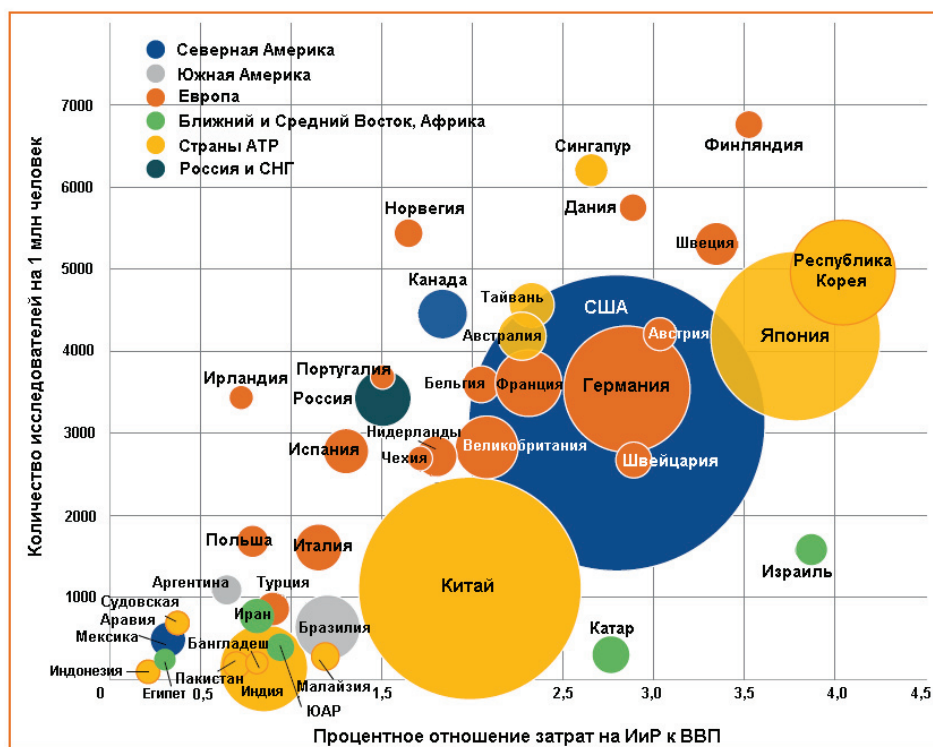


Рис. 3. Диаграмма отношения количества исследователей и затрат на исследования и разработки к ВВП страны в 2016 г.



Цветом окружностей распределены страны по регионам. Так, наиболее плотное сосредоточение окружностей одного цвета наблюдается среди европейских стран – в центральной части представленного графика (Германия, Франция, Великобритания, Швейцария, Нидерланды, Австрия, Бельгия, Португалия, Испания, Ирландия). Это говорит о сбалансированном соотношении исследователей в этих странах (3–4 тыс. исследователей на 1 млн чел.) и доли финансирования ИиР к ВВП этих стран (1,5–3%). Как видно на рисунке, Россия по плотности научных исследователей стоит в одном ряду с группой высокоразвитых европейских стран.

Подводя итоги, отметим, что в России по-прежнему необходимо повышать количество исследователей, уровень финансирования ИиР, а также законодательно обеспечивать новые механизмы содействия данным процессам и таким образом повышать значения основных показателей системы поддержки научных исследований и разработок, поднимать престиж научно-исследовательской работы, создавать прозрачные механизмы роста и стимулирования исследовательского сообщества. Также необходимо констатировать тот факт, что государственное финансирование ИиР России в настоящее время увеличилось в два раза за последние пять лет, однако данный показатель все еще не сопоставим с расходами Китая и США. Положительную динамику развития ИиР в России и других странах можно оценить, сравнив данные табл. 2 настоящей публикации с данными аналогичной таблицы за 2010–2012 годы, представленной в статье «Анализ глобальных расходов на НИОКР в 2010–2012 годах» в сборнике научных трудов № 2 ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ за 2013 год [4].

*Статья выполнена в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по результатам работ в рамках Государственного задания по проекту № 2.4260.2017/НМ.*

### **Список литературы**

1. «2016 Global R&D Funding Forecast». Available at: <http://www.iriweb.org/sites/default/files/2016GlobalRDFundingForecast.pdf>.
2. Годовой отчет МВФ – 2016. Available at: [http://www.imf.org/external/russian/pubs/ft/ar/2016/pdf/ar16\\_rus.pdf](http://www.imf.org/external/russian/pubs/ft/ar/2016/pdf/ar16_rus.pdf).
3. Годовой отчет Всемирного банка за 2014, 2015 и 2016 гг. Available at: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24985>.
4. Изюмов Д.Б., Кондратюк Е.Л., Зинченко М.А., Махмутова Д.С. Анализ глобальных расходов на НИОКР в 2010–2012 гг. // «Инноватика и Экспертиза», 2012, № 2 (9), с. 159–166.

### **References**

1. 2016 Global R & D Funding Forecast. Available at: <http://www.iriweb.org/sites/default/files/2016GlobalRDFundingForecast.pdf>.
2. *Godovoy otchet MVF – 2016* [IMF Annual Report – 2016]. Available at: [http://www.imf.org/external/russian/pubs/ft/ar/2016/pdf/ar16\\_eng.pdf](http://www.imf.org/external/russian/pubs/ft/ar/2016/pdf/ar16_eng.pdf).
3. *Godovoy otchet Vsemirnogo banka za 2014, 2015 i 2016 gg.* [Annual report of the World Bank for 2014, 2015 and 2016]. Available at: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24985>.
4. Izyumov D.B., Kondratyuk E.L., Zinchenko M.A., Mahmutova D.S. (2012) *Analiz global'nykh raskhodov na NIOKR v 2010–2012 gg.* [Analysis of global expenditure on R & D in 2010–2012] *Innovatika i ekspertiza. Nauchnye trudy. FGBNU NII RINKTsE* [Innovatics and Expert Examination. Scientific works. SRI FRCEC]. Moscow, No. 2(9), pp. 159–166.

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

### КОРРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ СУДОВ

**О.А. Белов**, зав. каф. Камчатского государственного технического университета, канд. техн. наук, [boa-1@mail.ru](mailto:boa-1@mail.ru)

**С.А. Клементьев**, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [klements@extech.ru](mailto:klements@extech.ru)

**А.Б. Дороганов**, аспирант Камчатского государственного технического университета, [kletn@yandex.ru](mailto:kletn@yandex.ru)

*В статье рассмотрены вопросы обеспечения безопасности эксплуатации морских судов, проведен анализ аварийности судов, связанных с процессами коррозии корпусных конструкций. Определены основные направления совершенствования организации комплексной защиты корпусов морских судов.*

**Ключевые слова:** безопасность эксплуатации морских судов, предотвращение аварийности, коррозионные процессы, организация протекторной защиты корпусов.

### CORROSION PROCESSES AS A FACTOR IN REDUCING THE SAFETY OF OPERATION OF SEA-GOING VESSELS

**O.A. Belov**, Head of Department, Kamchatka State Technical University, Doctor of Engineering, [boa-1@mail.ru](mailto:boa-1@mail.ru)

**S.A. Klement'ev**, Head of Department, SRI FRCEC, [klements@extech.ru](mailto:klements@extech.ru)

**A.B. Doroganov**, Postgraduate, Kamchatka State Technical University, [kletn@yandex.ru](mailto:kletn@yandex.ru)

*The article discusses the main issues of safety provision of ship operation presenting the results of analysis of accidents caused by corrosion processes of hull structures and disclosing the key directions of improving organization of comprehensive protection of ship hulls.*

**Keywords:** safety provision of operation of sea-going vessels, prevention of accidents, corrosion processes, organization of comprehensive protection of ship hulls.

Основным материалом корпусов современных морских судов, кораблей и других плавучих сооружений являются, как правило, судостроительная сталь или металлические сплавы. Кроме того, основные судовые механизмы, устройства и системы также изготавливаются из металла. Эксплуатация таких объектов в условиях морской среды неизбежно связана с активным протеканием процессов коррозии, которая наносит непоправимый вред обшивке бортов, надстройкам, леерным ограждениям, трубопроводам, цистернам, топливным и балластными танками, элементам энергетических установок и другим конструкциям судна [1].

Безопасность эксплуатации морских судов, живучесть судна и безопасность экипажа в значительной степени зависят от надежности механизмов, корпуса и особенно его подводной части [2]. Вместе с тем именно корпус судна является основным элементом, подвергающимся воздействию коррозионных процессов. Коррозия является одной из главных причин износа корпусов судов, снижения их прочности и безопасности [3]. Борьба с коррозией на флоте является приоритетной государственной задачей.

Опыт показывает, что одной из основных причин аварий и катастроф судов на море является коррозия корпуса. Как известно, электрохимическая коррозия является основной причиной износа сварных соединений [4]. Корпуса судов, поврежденные коррозией, уже не могут выдерживать той нагрузки, которая допускается на новых или отремонтированных в доке судах [5]. Так, 13 сентября 2001 г. на траулере «Вера Белик» в Татарском проливе у берегов западного побережья Сахалина вследствие чрезмерного коррозионного износа лопнула кингстонная переборка, и в машинное отделение начала поступать вода. Благодаря профессиональным действиям экипажа, трагедии удалось избежать, и судно благополучно вернулось в порт [6].

28 сентября 2003 г. «во время следования с грузом металлолома ведомый российским экипажем теплоход “Мартиника” затонул в нейтральных водах Мексиканского залива». Официально установлено, что сухогруз потерял плавучесть вследствие коррозионного износа [6].

20 декабря 2009 г. в акватории Черного моря во время шторма раскололся сухогруз «Арас-1». Одна часть судна осталась на рейде в море, вторую выбросило на берег. Причиной разлома судна является износ корпуса [6].

26 мая 2012 года в Беринговом море затонул российский траулер «Капитан Болсуновский». Причина затопления траулера – износ корпуса судна, приведшее к расхождению сварных швов, при столкновении со льдиной [6].

На мероприятия, связанные с диагностикой и ремонтом корпуса судна в доке, тратятся значительные средства. Проведенные в России и за рубежом исследования показывают, что около 20–30% от общих затрат на заводской ремонт судна приходится на ликвидацию коррозионных разрушений. Не менее 60% всех доковых работ относится к затратам на работы по ликвидации коррозии.

Помимо того, что коррозия корпуса судна представляет собой опасность для жизни людей, коррозия так же причиняет значительные экономические убытки. Так, 3 ноября 2012 г. в акватории Балтийского моря затонул стоявший у причала сторожевой корабль «Неукротимый». Корабль был выведен из боевого состава кораблей Балтийского флота и выставлен на реализацию. Как заявил представитель командования, «Неукротимый» затонул из-за утечек в корпусе, которые были вызваны коррозией – судно было очень старым. На подъем корабля и дальнейшую утилизацию государству потребовались значительные средства [6].

Подобный случай не единичный. Известно, что на Камчатке в Авачинской бухте на дне находится около 70 затонувших судов и кораблей, основная масса которых состоит из списанных затонувших кораблей ВМФ, а так же брошенных судовладельцами рыболовных сейнеров. На расчистку акватории Авачинской бухты Правительством выделено 2 млрд руб. [6]. Избежать таких последствий можно было, периодически контролируя защитный потенциал корпуса и при необходимости устанавливая подвесные протекторы.

Коррозия корпуса судна может вызвать утечку нефтепродуктов и других загрязняющих акваторию веществ, что может привести к экологической катастрофе. Так, 12 декабря 1999 г. у побережья Франции во время шторма раскололся на 2 части танкер «Erika». В море попало 15 тыс. тонн мазута. По результатам расследования выяснилось, что катастрофа произошла вследствие слабости корпусной конструкции из-за коррозии [6].

В ноябре 2002 г. у побережья Испании во время сильного шторма разломился и затонул танкер «Prestige». В море попало 64 тыс. тонн мазута. Ущерб от катастрофы оценивается в 4 млрд евро. Причиной крушения стал коррозионный износ конструкции корпуса, не выдержавший повышенных при шторме нагрузок [6].

11 ноября 2007 г. в районе Керченского пролива при шторме раскололось надвое нефтеналивное судно «Волгонепфть-139». В море попало около 3 тыс. тонн мазута и около 6 тыс. тонн серы. Эксперты установили, что судно имело предельный физический износ конструкций корпуса [6].

С целью повышения эффективности противодействия коррозии корпусов судов, постоянно разрабатываются и совершенствуются комплексные способы защиты, включающие в себя лакокрасочные покрытия и системы электрохимической защиты (ЭХЗ). Кроме того, для защиты от контактной коррозии предусматриваются конструктивно-технологические средства, обеспечивающие электрическое разъединение корпуса и корпусных конструкций [7]. Однако, в процессе эксплуатации по различным причинам может происходить сбой в электрохимической защите судна (например, обрыв протекторов, разрушение изоляционных элементов и т.д.). В результате электрическое поле судна существенно отклоняется от допустимых значений и процессы коррозии начинают протекать более интенсивно. Для предотвращения коррозионного износа корпуса необходим объективный систематический контроль за состоянием технических средств защиты судна и его электрическим полем [8].

Наиболее распространенной системой ЭХЗ является система протекторной защиты, которая согласно ГОСТ 9.056-75 и РЗК НК 2001 должна включать следующие основные элементы: подвесные протекторы; переносные хлорсеребряные электроды сравнения; переносной милливольтметр для измерения потенциала корпуса защищаемого объекта.

Для того чтобы оценить эффективность работы установленных протекторов при постройке или после проведенного ремонта, а так же оценить состояние подводной части корпуса судна после длительной эксплуатации, необходимо постоянно контролировать эксплуатацию систем протекторной защиты. Повышение эффективности эксплуатации систем протекторной защиты стальных корпусов кораблей и судов невозможно без совершенствования метода контроля протекторной защиты. Используемые в настоящее время методы контроля, вследствие недостаточного развития научно-методических основ и несовершенства технических средств, характеризуются значительной трудоемкостью и низкой экспрессностью [8]. Следует также отметить, что экипажи большинства судов не имеют достаточной подготовки, позволяющей квалифицированно эксплуатировать системы электрохимической защиты.

Экспертная оценка организации защиты корпусов судов от коррозии показала, что на большинстве кораблей и судов системы контроля электрохимической и в частности протекторной защиты не используются, о чем свидетельствует отсутствие документации с результатами проведенного контроля [8]. Поэтому дальнейшее совершенствование технических средств и методов контроля эксплуатации системы протекторной защиты стальных корпусов кораблей и судов, снижение трудоемкости данных мероприятий и повышение эффективности защиты от коррозии необходимо для обеспечения безопасности мореплавания и предотвращения аварий и катастроф на море.

*Статья подготовлена по материалам научно-исследовательской работы, выполненной ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по заданию № 2.4260.2017/НМ Министерства образования и науки РФ на выполнение работ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.*

### **Список литературы**

1. Защита судов лакокрасочными материалами от коррозии и обрастания // Под ред. Ю.Е. Зобачева. Обзорная информация. М.: ЦБНТИ Минморфлота, 1977, 87 с.
2. Каменская В.Г., Барабаш Н.С., Клементьев С.А. Обзор научно-технических разработок в области обеспечения межличностных отношений и благоприятного психологического климата в условиях длительного подводного плавания // Инноватика и экспертиза: науч. тр. М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. 2016. Вып. 3(18), с. 257–264
3. Швецов В.А., Белов О.А., Белозеров П.А., Белафина О.А., Кириносенко В.В. Обоснование необходимости подготовки операторов для измерения потенциала стальных корпусов судов и кораблей // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2016 №37. С.19–24.
4. Черток Ф.К. Коррозионный износ и долговечность сварных соединений. Л.: Судостроение, 1977. 144 с.



5. Телянер Б.Е. Технология ремонта корпуса судна / Б.Е. Телянер, Г.П. Турмов, Г.Н. Финкель. Л.: Судостроение. 1984. 288 с.
6. Швецов В.А. Контроль систем протекторной защиты стальных судов и кораблей: монография / В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозеров, Д.В. Шунькин. Петропавловск-Камчатский: Камчатский ГТУ, 2016. 109 с.
7. Белов О.А., Дороганов А.Б. Проблемы методологии контроля электрохимической защиты стальных корпусов кораблей и судов // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2016, № 37. С. 10–13.
8. Белов О.А. Методология анализа и контроля безопасности судна как сложной организационно-технической системы // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2015, № 34. С. 12–18.
9. Белов О.А., Марченко А.А., Труднев С.Ю. Анализ расчетно-аналитических методов прикладных задач технической безопасности / О.А. Белов, А.А. Марченко, С.Ю. Труднев // Вестник Астраханского государственного университета. Серия: Морская техника и технология. 2015, № 4, с. 7–15.

## References

1. *Zashchita sudov lakokrasochnymi materialami ot korrozii i obrastaniya. Pod red. Yu. E. Zobacheva* [Protection of vessels with varnish coatings against corrosion and fouling. Under the editorship of Y.E. Zobachev] *Obzornaya informatsiya. TsBNTI Minmorflota* [Overview. The Central Bureau of Scientific and Technical Information of the Marine Ministry of the RF], Moscow. 1977, 87 p.
2. Kamenskaya V.G., Barabash N.S., Klement'ev S.A. (2016) *Obzor nauchno-tehnicheskikh razrabotok v oblasti obespecheniya mezhlichnostnykh otnosheniy i blagopriyatnogo psikhologicheskogo klimata v usloviyakh dlitel'nogo podvodnogo plavaniya* [A review of scientific and technological developments in the field of maintenance of interpersonal relationships and a favorable psychological climate in long-term scuba diving] *Innovatika i ekspertiza. Nauch. tr. FGBNU NII RINKTsE* [Innovatics and Expert Examination. Scientific Works. SRI FRCEC], Moscow, vol. 3(18), pp. 257–264.
3. Shvetsov V.A., Belov O.A., Belozyorov P.A., Belavina O.A., Kirnosenko V.V. (2016) *Obosnovanie neobkhodimosti podgotovki operatorov dlya izmereniya potentsiala stal'nykh korpusov sudov i korabley* [Rationale for operator training for measuring steel hull potential of vessels and ships] *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kamchatka State Technical University], No. 37, pp. 19–24.
4. Chertok F.K. (1977) *Korroziionnyy iznos i dolgovechnost' svarnykh soedineniy* [Corrosion wear and durability of welded joints] *Sudostroenie* [Shipbuilding], Leningrad, 144 p.
5. Telyaner B.E. (1984) *Tekhnologiya remonta korpusa sudna. B.E. Telyaner, G.P. Turmov, G.N. Finkel'* [Technology of ship hull repairs. Ed. B.E. Telyaner, G.P. Turmov, G.N. Finkel'] *Sudostroenie* [Shipbuilding]. Leningrad, 288 p.
6. Shvetsov V.A. (2016) *Kontrol' sistem protektrnoy zashchity stal'nykh sudov i korabley: monografiya V.A. Shvetsov, O.A. Belov, P.A. Belozorov, D.V. Shun'kin* [Control of systems of protector protection of steel vessels and ships: monograph. Ed. V.A. Shvetsov, O.A. Belov, P.A. Belozorov, D.V. Shun'kin] *Kamchatskiy GTU* [KamchatSTU], Petropavlovsk-Kamchatsky, 109 p.
7. Belov O.A., Doroganov A.B. (2016) *Problemy metodologii kontrolya elektrokhimicheskoy zashchity stal'nykh korpusov korabley i sudov* [Methodological problems in the control of electrochemical protection of steel hulls] *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kamchatka State Technical University], No. 37, pp. 10–13.
8. Belov O.A. (2016) *Metodologiya analiza i kontrolya bezopasnosti sudna kak slozhnoy organizatsionno-tehnicheskoy sistemy* [The methodology of analysis and monitoring of ship safety as difficult technical-organizational system] *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kamchatka State Technical University], No. 34, pp. 12–18.
9. Belov O.A., Marchenko A.A., Trudnev C.Y. (2015) *Analiz raschetno-analiticheskikh metodov prikladnykh zadach tekhnicheskoy bezopasnosti. Pod red. O.A. Belov, A.A. Marchenko, S.Yu. Trudnev* [Analysis of computational and analytical methods of applied tasks of technical security] *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Marine engineering and technology], No. 4, pp. 7–15.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЕМЕРКУРИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

**Л.М. Левченко**, вед. научн. сотр. ИНХ СО РАН, д-р хим. наук, [luda@niic.nsc.ru](mailto:luda@niic.nsc.ru)

**А.А. Галицкий**, научн. сотр. ИНХ СО РАН, канд. техн. наук, [galizky@niic.nsc.ru](mailto:galizky@niic.nsc.ru)

**В.В. Косенко**, ген. дир. ООО «СИБРТУТЬ», [kw@ngs.ru](mailto:kw@ngs.ru)

**А.К. Сагидуллин**, инж. ИНХ СО РАН, [sagidullin@niic.nsc.ru](mailto:sagidullin@niic.nsc.ru)

*В работе проведен анализ литературных данных по проблеме демеркуризации твердых отходов, в том числе компактных люминесцентных ламп нового поколения. Рассмотрены технологии демеркуризации и промышленные установки существующие в настоящее время. Описаны их достоинства и недостатки. Рассмотрена новая технология демеркуризации компактных люминесцентных ламп с применением окислителей и нанопористого модифицированного углеродного сорбента (НУМС-Ј). Показаны возможности применения различных технологий демеркуризации твердых отходов.*

**Ключевые слова:** технологии демеркуризации, компактные люминесцентные лампы, установки по утилизации ртутьсодержащих твердых отходов, демеркурирующие растворы, нанопористые углеродные материалы как сорбенты для извлечения ртути.

## MODERN TECHNOLOGIES OF DEMERCURIZATION OF SOLID WASTES

**L.M. Levchenko**, Leading Researcher, NIIC SB RAS, Ph. D. of Chemistry, [luda@niic.nsc.ru](mailto:luda@niic.nsc.ru)

**A.A. Galitsky**, Researcher, NIIC SB RAS, Doctor of Engineering, [galizky@niic.nsc.ru](mailto:galizky@niic.nsc.ru)

**V.V. Kosenko**, General Director, ООО «SIBRTUT», [kw@ngs.ru](mailto:kw@ngs.ru)

**A.K. Sagidullin**, Engineer, NIIC SB RAS, [sagidullin@niic.nsc.ru](mailto:sagidullin@niic.nsc.ru)

*In the work the analysis of literature data on the problem of demercurization of solid wastes, including fluorescent lamps. The technologies of demercurization and industrial installations existing at the present time. Their advantages and disadvantages. A new technology of demercurization of compact fluorescent lamps with the use of oxidizing agents and nanoporous modified carbon sorbent (NUMS-J). The possibilities of application of various technologies of demercurization of solid wastes.*

**Keywords:** Technologies of demercurization fluorescent lamps, plant for disposal of mercury-containing solid waste, demercurizing solutions, porous carbon materials as sorbents to remove mercury.

Хорошо известно, что ртуть является суперэкоотоксикантом и согласно действующим в нашей стране экологическим и гигиеническим нормативам ПДК ртути в воздухе составляют  $0,0003 \text{ мг/м}^3$ , в воде  $0,0005 \text{ мг/л}$ , в почве —  $2,1 \text{ мг/кг}$  [1–2].

Ртутное загрязнение имеет особое значение для России и ассоциируется, в первую очередь, с деятельностью промышленных предприятий, производящих ртуть и ее соединения, использующих ртуть в производственных циклах и как следствие с утилизацией ртутьсодержащих отходов. В настоящее время загрязнение ртутью связано с накоплением многочисленных отходов с малым содержанием ртути (люминофор, стеклобой люминесцентных ламп).

Анализ литературных данных (2005–2015 гг.) показал, что переработкой ртутьсодержащих отходов (РСО) активно занимаются в настоящее время в России, Китае, Японии, США, Италии [1–15].



В России разработаны и усовершенствуются технологии переработки и утилизации ртуть-содержащих твердых отходов, исследуются различные подходы к разработке параметров технологии и созданию установок по демеркуризации, исходя из свойств ртути, это методы амальгамирования, термические, в том числе высокотемпературный обжиг, гидрометаллургические, химические (реагентные).

Методы амальгамирования применяют для извлечения элементарной ртути или солей ртути, загрязненных различными примесями, с помощью меди, цинка, никеля, серебра, золота, серы и др. с целью превращения ее в полутвердые амальгамы, в результате чего снижается выделение паров металлической ртути в воздушную среду и переход ртути в водную среду. Метод используют для подготовки отходов к транспортированию и складированию для последующей переработки.

Метод высокотемпературного обжига состоит в обжиге отходов, содержащих ртуть и органические компоненты, проводимом в соответствии с требованиями ГОСТ 12.3.031 [12]. Все получаемые в результате этого процесса продукты проверяются на соответствие требованиям ГОСТ 12.3.031 для отнесения их к соответствующей группе.

Термические методы заключаются в прогревании или прокаливании в установке, приспособленной для испарения ртути и, соответственно, для конденсации паров ртути, либо прямой ректификации ртути с целью ее регенерации. Подобная установка должна соответствовать требованиям ГОСТ 17.2.3.02, ГОСТ 12.1.005 в части обращения с ртутью и ее соединениями.

Метод термической демеркуризации РСО положен в основу установок УДЛ (ВНИИВМР, г. Москва), установок типа УДМ, УДМП (НПК «Меркурий», Чебоксары), УДМ-3000 (ООО «Региональный экологический центр демеркуризации» г. Амурск), который основывается на возгонке ртути из смеси стеклянного и металлического лома под воздействием высоких температур с последующим улавливанием и конденсацией ее паров, малогабаритные вакуумные термодемеркуризационные установки УДЛ-100, УДЛ-150, НПК «Меркурий» также работают по принципу зависимости давления насыщенного пара ртути от температуры [15,17–19].

Предлагаемая технология направлена на полную утилизацию всех компонентов. Для реализации предлагаемого способа была создана на предприятии ООО «Автоэко» в г. Рязань экспериментальная технологическая линия, состоящая из следующих узлов и агрегатов: дробилки, которая представляет собой герметизируемый стальной объем с трубой для подачи люминесцентных ламп, где внутри расположено устройство для разрушения люминесцентных ламп, которое приводится в действие электродвигателем, расположенным снаружи; сепаратора, который обеспечивает разделение колпачков, стеклобоя и ртутьсодержащего люминофора (частота вибрации при сепарации обеспечивается электродвигателем с эксцентриком и составляет 50 Гц и согласована с элементами конструкции); циклон для улавливания ртутьсодержащего люминофора; система воздухоочистки, содержащая фильтры для поглощения пыли и фильтры с активированным углем для поглощения остатков паров ртути; устройство для создания разрежения (разрежение 1000 Па) и воздушного потока, которое представляет собой крыльчатку с электродвигателем; емкости для колпачков, стеклобоя, люминофора; печь, представляющая собой герметичный объем, в котором может быть размещена емкость с люминофором массой 50 кг. Температура внутри печи может достигать 900 °С и создается электрическими нагревателями. Печь содержит также ловушку с системой охлаждения. Контроль содержания паров ртути обеспечивается прибором АГП-1. Оказалось, что в исходном материале (люминофоре) содержание ртути составляло 200 (0,02%) ppm, а после проведения демеркуризации содержание ртути снизилось ниже чувствительности масс-спектрометра ниже 3 ppm (ниже 0,0003%). Все компоненты ртутьсодержащих приборов могут быть повторно использованы и не загрязняют окружающую среду ни веществом повышенной опасности (ртутью), ни мусором.

Научно-исследовательский центр по проблемам управления ресурсосбережением и отходами (ЦНИПУРО) Госкомэкологии России г. Мытищи Московской области разработана технология для термической демеркуризации ртутьсодержащих люминесцентных и дугоразрядных ламп предусматривает измельчение ламп и горелок ламп типа ДРЛ, нагрев полученного стеклобоя для перевода ртути в парообразное состояние, удаление технологического газа в конденсационную систему и очистку его от паров ртути до санитарной нормы.

Продукты переработки: — ртутный концентрат с содержанием ртути до 70%, соответствующий ГОСТу на вторичную ртуть, который принимается ртутными заводами для извлечения ртути. Сбросной газ с содержанием ртути менее 0,0003 мг/м<sup>3</sup>. Стеклобой, пригодный для использования на универсальной установке ОДС-1 для обогащения отходов термической демеркуризации, которая позволяет удалить из стеклобоя на 95% люминофор и выделить 5 самостоятельных концентратов для вторичной металлургии: алюминиевый (цоколи), медно-никелевый (выводы), медно-цинковый (латунные штырьки), оловянно-свинцовый (припой) и свинцовый (ножки). Эти концентраты соответствуют требованиям Госстандарта на вторичные цветные металлы и сплавы и могут быть направлены на предприятия цветной металлургии. В обезвреженном стеклобое содержание ртути составляет менее 2,1 мг/кг, металлических компонентов — менее 0,1%, люминофора — менее 0,1%. Стеклобой пригоден для использования в производстве стеклогранулята, керамических изделий или для добавки к стекломассе при производстве стекла, а также для дорожного строительства и др.

Следует выделить и метод вакуумной дистилляции ртутьсодержащих отходов (термовакuumный метод), который основан на вакуумной дистилляции ртути с вымораживанием ее паров на поверхности низкотемпературной ловушки. Метод реализован в малогабаритных вакуумных термодемеркуризационных установках типа УРЛ-2М (ФИД — Дубна) [18]. Установка УРЛ-2М предназначена для термической демеркуризации (удаления ртути) из люминесцентных ламп всех типов, а также горелок ртутных ламп высокого давления типа ДРЛ. Оставшийся после удаления ртути стеклобой можно использовать в производстве строительных и дорожных работ либо утилизировать на полигоне твердых бытовых отходов (ТБО) или промышленных отходов (при 4-ом классе опасности отходов по заключению ГК РФ по ООС). Технологический процесс демеркуризации запатентован [15].

Особенность термовакuumной технологии — применение термической возгонки ртути, ее органических и неорганических соединений в печи с незначительным разрежением. Возгонка — переход из твердого в газообразное состояние, минуя жидкую фазу. В ней при температуре 300–400 °С ртуть и ее соединения возгоняются и улавливаются в системе газоочистки. Термовакuumный способ пригоден также для отходов ртутьсодержащих батарей.

Однако в процессе реализации этого метода есть недостатки, которые мешают в полной мере использовать достоинства метода.

Во-первых, вакуумная технология не приспособлена к переработке грязных, битых ламп, к переработке влажных отходов, к переработке отходов с содержанием пластмасс, так как вакуумная система выходит из строя, как от воды, так и при нагреве пластмасс, и от других веществ, компоненты которых засоряют вакуумную систему.

Во-вторых, вакуумная технология позволяет нагревать РСО до температур не более 170 °С, выше которых компоненты текстолита и компаундов засоряют вакуумную систему, а наиболее устойчивые соединения ртути, в частности киноварь, каломель, сулема и др., не разлагаются и ртуть не испаряется целиком из демеркуризуемых материалов.

Кроме того, производительность такой технологии и оборудования ограничена, технология энергоемка, требует для реализации большое количество электроэнергии, применения дорогостоящего жидкого азота. Такой способ имеет значительные удельные затраты на утилизацию.

Хотя термические методы демеркуризации обладают высокой производительностью и ртуть сразу получают в виде металла, однако они требуют высоких капитальных затрат,

энергоемки, аппаратура требует сложной системы герметизации и защиты от аварийных выбросов паров и ртути. Этим методом наиболее выгодно перерабатывать только материалы с высоким содержанием ртути.

Наиболее эффективной можно считать установку ЭКОТРОМ [20] для утилизации ртути, которая представляет собой сочетание пиро- и гидрометаллургических приемов и состоит из комплекса независимых модулей, предназначенных для переработки различных типов ламп и твердых отходов. На модуле для демеркуризации ламп низкого давления реализуется термохимический способ, по которому отработанные лампы нагревают до заданной температуры с целью десорбции ртути из стекла колбы, а затем резко охлаждают контактом горячей лампы с обратным раствором демеркуризатора.

В ходе термического разрушения колбы на куски размером 5–20 мм ртуть связывается демеркуризатором в сульфидное соединение. Образовавшийся тонкодисперсный сульфид ртути и люминофор с внутренних стен колбы, стеклобой крупностью менее 1 мм выделяются из раствора при отстаивании в ртутнолюминофорный шлам.

Для демеркуризации отходов с низким содержанием ртути наиболее эффективны химико-металлургические методы. Для очистки РСО от органических веществ используют органические растворители, мыльные растворы или концентрированные растворы едких щелочей, например 10–30%-ные растворы NaOH или иные растворители. При необходимости очищенную таким образом ртуть подвергают последующей ректификации или электролитическому рафинированию. Обращение с образующимися в этих процессах растворами должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.007, ГОСТ 12.3.031. запатентован способ [21] демеркуризации люминесцентных ламп, в которых использованные лампы подвергаются мокрому измельчению с одновременной отмывкой в два этапа ртути и люминофора со стекла и цоколей. Отмывка осуществляется в специально разработанном растворе. После этого производится механическое разделение стекла и цоколей.

Реагентный метод демеркуризации твердых отходов основан на обработке измельченных РСО химическими демеркуризаторами с целью перевода ртути в трудно растворимые соединения. Как правило, реагентные методы включают стадию окисления металлической ртути или соединений одновалентной ртути до двухвалентной, дающей хорошо растворимые соли. Затем растворы очищают от ионов  $Hg^{+2}$  путем осаждения в виде труднорастворимого соединения, ионного обмена или электролиза. Реагентные или гидрохимические методы требуют значительно меньших затрат капитальных и эксплуатационных с использованием стандартных химических аппаратов. Возможна переработка отходов с любым, в том числе малым содержанием ртути.

Основной составляющей реагентной технологии демеркуризации является целенаправленный выбор реагентов. Различными авторами [11, 22–25] было установлено, что в качестве наиболее перспективных демеркуризационных реагентов были использованы полисульфидные препараты, персульфаты, соединения, содержащие ионы галогенов, комплексообразующие реагенты и поверхностно-активные вещества. В ряде случаев оптимальный результат достигается при комплексном использовании указанных выше препаратов. Высокой эффективностью отличается способ демеркуризации, позволяющий преобразовать ртуть в сульфид ртути — наиболее устойчивое, практически нерастворимое соединение этого элемента, отвечающее ее природной форме [22].

В связи с резким ростом выпуска компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) возникла новая задача разработки новой эффективной технологии демеркуризации КЛЛ с привлечением известных методов демеркуризации, а именно, реагентных, где не требуется дорогостоящего оборудования и утилизация такого рода отходов основывается на преобразовании ртути в малодиссоциируемое соединение сульфид ртути.

Составной частью ККЛ является стеклянная колба, по обоим концам которой впаяны ножки с катодами. Катод обычно представляет собой биспираль из вольфрамовой проволо-

ки, покрытый тонким слоем оксидов щелочноземельных металлов. Цоколь лампы изготавливается, как правило, из алюминия; в лампах присутствуют также медь (выводы, латунные штырьки), никель (выводы), цинк (латунные штырьки), олово (припой), свинец (припой и ножка) и другие химические элементы. Устройство КЛЛ приведено на рис. 1. Вес компактных люминесцентных ламп приведен в табл. 1.



Рис. 1. Устройство КЛЛ

Таблица 1

Содержание ртути в компактных люминесцентных лампах

|    | Лампа                  | Вес, г |           | Кол-во Hg, мг |
|----|------------------------|--------|-----------|---------------|
|    |                        | лампы  | стеклобой | стеклобой     |
| 1  | Phoenix Light 25W      | 106,54 | 44,06     | 1,72          |
| 2  | Phoenix Light 25W      | 84,34  | 38,48     | 1,48          |
| 3  | Compact Electronic 20W | 107,32 | 37,04     | 1,07          |
| 4  | Compact Electronic 20W | 105,8  | 35,87     | 0,50          |
| 5  | Compact Electronic 23W | 109,62 | 52,19     | 1,64          |
| 6  | Compact Electronic 23W | 103,13 | 47,75     | 1,27          |
| 7  | Compact Electronic 26W | 112,67 | 55,88     | 2,09          |
| 8  | Compact Electronic 26W | 112,9  | 55,47     | 1,75          |
| 9  | Svetlon 30W            | 102,34 | 42,38     | 3,21          |
| 10 | Svetlon 30W            | 102,44 | 38,46     | 2,86          |
| 11 | Happy Light 28W        | 73,07  | 29,47     | 2,23          |
| 12 | Космос SP 26W          | 117,88 | 55,50     | 3,25          |

Содержание ртути (табл. 1) в различных марках КЛЛ определяли следующим образом: стеклянную трубку с люминофором разбивали и перетирали до состояния стеклянной крошки в эксикаторе под слоем раствора (400 мл) (на 1 л воды – 50 мл  $\text{HNO}_3$  конц. + 0,2 г  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ). Раствор сливали в мерную колбу на 500 мл. Стеклобой 3 раза промывали малыми порциями раствора. Раствор в мерной колбе довели до метки и затем разбавляли в 1250

раз (последовательно 1 мл в 50 мл, затем снова 2 мл в 50 мл). Разбавленный раствор анализировали на содержание ртути методом ААС. Для проведения разработки реагентной технологии ККЛ и выбора демеркуризирующего реагента, было исследовано действие следующий демеркуризирующих растворов: 5% раствора сернистого натрия, 10% раствора сернистого натрия, 5–10% раствора полисульфида кальция, 5–10% раствора полисульфида натрия и раствор йода в 30%-ном растворе КJ.

На рис. 2 представлена эффективность растворов, которую определяли после проведения процесса демеркуризации и последующей отгонки ртути в демеркуризированном образце и ртути после выщелачивания в этом же образце. Показано, что наиболее эффективными демеркуризаторами являются растворы 3% йода в 30%-ном растворе КJ, 5% раствор полисульфида кальция и 5% раствор полисульфида натрия.

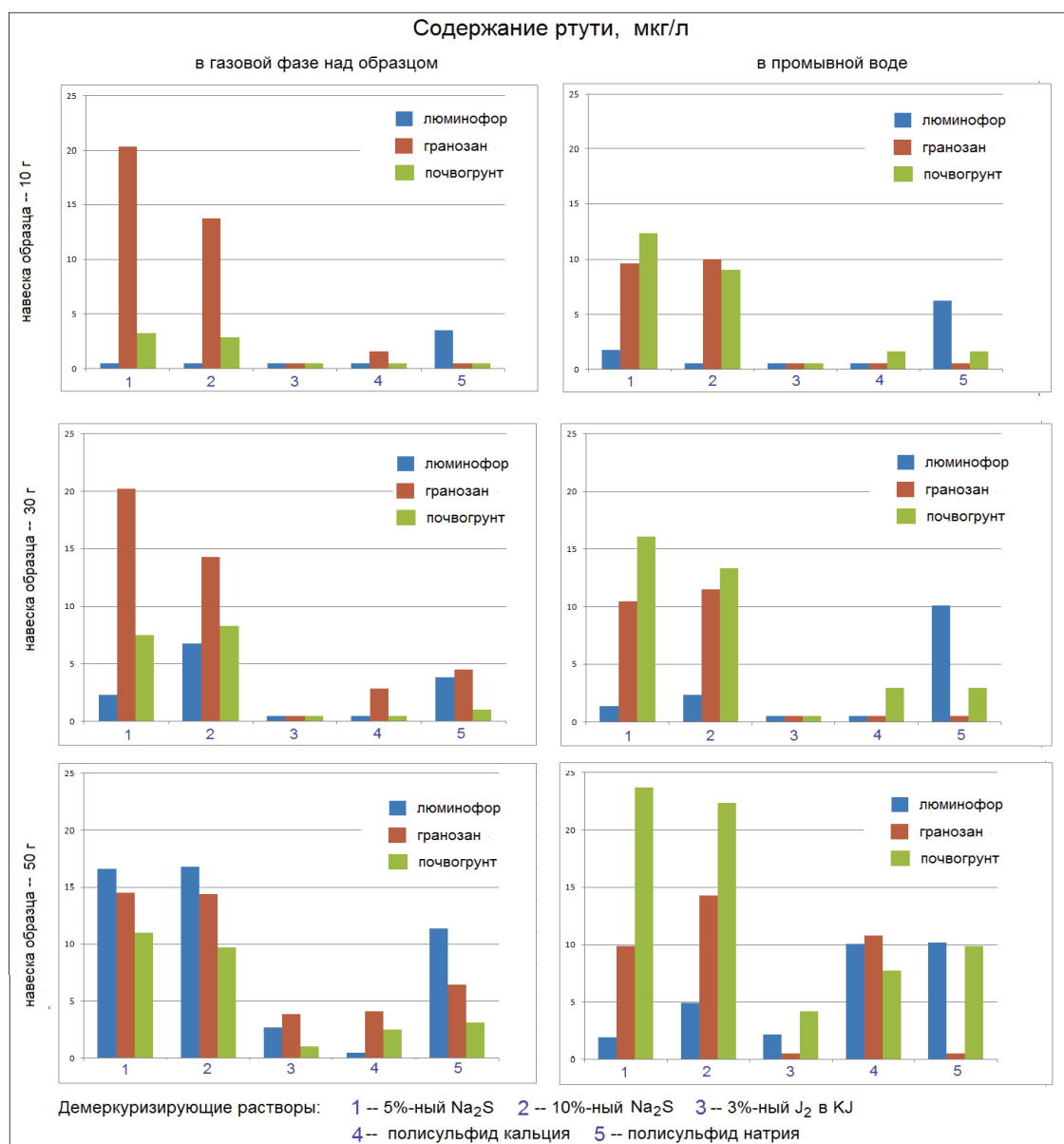


Рис. 2. Эффективность демеркуризирующих растворов



На основании проведенных исследований были определены в качестве окислителя – 2 мас% раствора 4–5% дихлорамина, либо 0,5 мас% раствора 20% хлорной извести, в качестве иммобилизатора – 5% раствор полисульфида кальция.

Для проведения дальнейших исследований по разработке технологии демеркуризации ККЛ был выбран раствор полисульфида кальция, для которого был разработан полупромышленный синтез и созданы технические условия. Процесс получения демеркуризационного раствора полисульфида кальция  $\text{CaS}_n$  основывается на известной реакции взаимодействия оксида кальция, либо гидроксида кальция с серой  $\text{CaO} + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$  (кипячение 2 часа)  $\rightarrow \text{CaS}_n$  + осадок бледно-желтого цвета.

Раствор полисульфида кальция  $\text{CaS}_n$  получен при следующем мольном соотношении ( $\text{Ca}:\text{S} = 1:3.1$ ). Было взято 50 г  $\text{CaO}$  + 90 г  $\text{S}$  и получено 500 мл раствора  $\text{CaS}_n$ . Раствор  $\text{CaS}_n$  анализировали на содержание серы (весовой анализ) и содержания кальция (атомно-абсорбционный метод). Найдено: концентрация кальция в растворе = 22 г/л (0,55М), содержание серы = 92 г/л (2,88 М). Следует отметить, что рабочие растворы долго не хранятся, даже будучи герметично закрытыми. Через 10 часов в них появляется осадок серы. Лабораторный метод синтеза раствора  $\text{CaS}_n$  был опробован в условиях цеха ООО «СибРтуть». Была наработана партия раствора полисульфида кальция в количестве 100 л. Содержание сульфидной серы в рабочем растворе полисульфида кальция, определенное по 32 измерениям равно  $26,2 \pm 2,4$  г/дм<sup>3</sup> по разработанной фотоколориметрической методике. Метод основан на фотоколориметрическом определении оптической плотности раствора полисульфида кальция с использованием светофильтров  $\lambda = 400$  и 540 нм. Содержание серы определялось по градуировочному графику (г/дм<sup>3</sup>) [26]. На раствор полисульфида кальция были созданы технические условия ТУ 1415-001-55481765-2009.

Для отработки технологии демеркуризации РСО было проведено изучение процесса демеркуризации люминофора в зависимости от количества сульфидной серы ( $\text{S}^{2-}$ ) в растворе полисульфида кальция и времени демеркуризации. В табл. 2 приведены результаты содержания ртути в растворах после проведения процесса демеркуризации при различном соотношении  $\text{Hg}^{2+}:\text{S}^{2-}$ .

Таблица 2

Определение ртути в растворах после проведения процесса демеркуризации

| № раствора | отношение $\text{Hg}^{2+}:\text{S}^{2-}$ | С Hg, мкг/л<br>после обработки раствором $\text{CaS}_n$ |
|------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1          | 1 : 11.4                                 | 0                                                       |
| 2          | 1 : 9.1                                  | 0.6                                                     |
| 3          | 1 : 5.7                                  | 1.5                                                     |
| 4          | 1 : 2.3                                  | 17.3 мг/л                                               |
| 5          | 1 : 1.1                                  | 45.8 мг/л                                               |

Показано, что ртуть отсутствует в растворе после проведения процесса демеркуризации раствором  $\text{CaS}_n$  при соотношении  $\text{Hg}^{2+}:\text{S}^{2-} = 1:11.4$ . Для оптимизации количества  $\text{CaS}_n$  и времени проведения процесса демеркуризации люминофора раствором  $\text{CaS}_n$  были проведены эксперименты на люминофоре КЛЛ, результаты представлены в табл. 3–4.

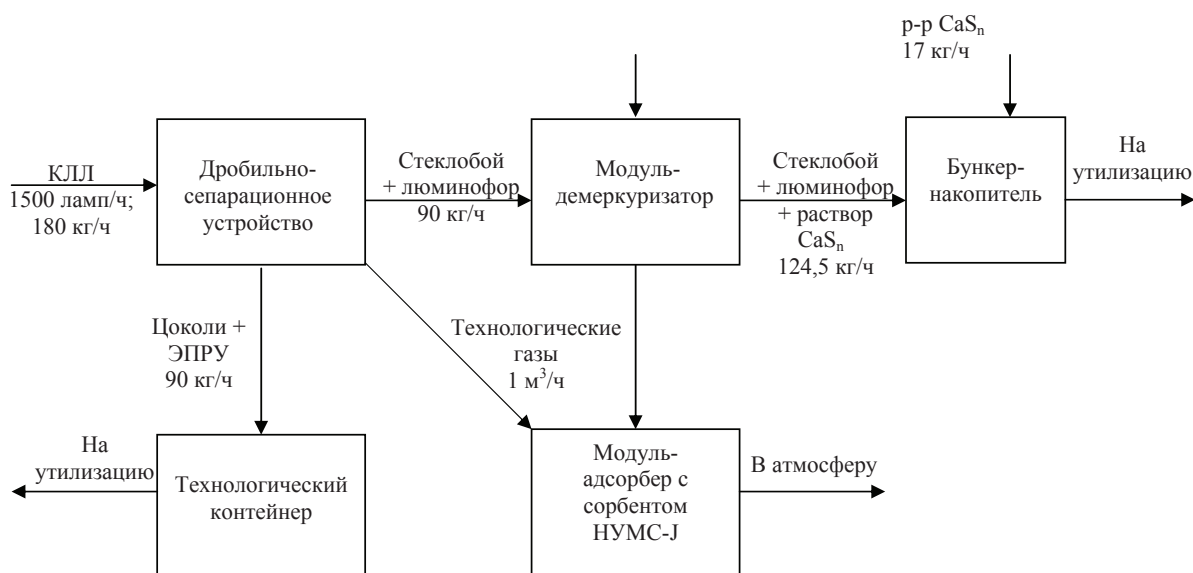
Результаты экспериментов показали, что промывные воды после проведения процесса демеркуризации люминофора содержат ртуть ниже уровня ПДК (2,1 мг/кг). Эти параметры технологии были проверены на гранозане, почвогрунте и строительных отходах. В результате был предложен упрощенный и эффективный способ демеркуризации ртутьсодержащих отходов для их утилизации, при котором достигается снижение концентрации паров ртути в воздухе над отходами и водной вытяжке после промывки демеркуризованных отходов



до уровня ПДК, а также достижение долговременности (в пределе – бессрочности) эффекта очистки от ртути, заключающийся в том, что перед обработкой 2,5–12% раствором полисульфида кальция отходы смешивают с окислителем, содержащим активный хлор, и выбранным из ряда: хлорная известь, белизна, хлорамин, при этом отходы смешивают с окислителем в количестве 0,15–10,0 мас.% от массы отходов, а соотношение раствора полисульфида кальция к смеси отхода и окислителя равно 1 – 4 : 10 мас.% соответственно, в смесь отходов и окислителя вводят также и воду в количестве 25–50 мас.% от массы отходов [11].

Отработав параметры технологии демеркуризации ККЛ нами была разработана экспериментальная установка утилизации и демеркуризации РСО (УУРО), создана аппаратурно-технологическая схема и разработана эскизно-конструкторская документация для процесса утилизации и переработки ртутьсодержащих отходов [27]. В качестве исходного материала использовали компактные ртутьсодержащие люминесцентные лампы нового поколения стандартов E14 и E27 различных типоразмеров.

Принципиальная схема приведена на рис. 3.



**Рис. 3. Принципиальная технологическая схема процесса утилизации компактных люминесцентных ламп**

Как видно из рис. 3 весь процесс может быть разбит на три стадии: дробление и сепарация КЛЛ; стадия демеркуризации люминофора в стеклобое КЛЛ; стадия утилизации образовавшихся газообразных продуктов.

Как и принципиально-технологическая, принципиальная аппаратурно-технологическая схема процесса утилизации ртутьсодержащих отходов представлена тремя основными модулями: модуль дробления и сепарации КЛЛ; модуль демеркуризации люминофора в стеклобое КЛЛ; модуль утилизации образовавшихся газообразных продуктов [28–31].

В модуль дробления и сепарации, который представляет собой скошенный цилиндр через съемную металлическую трубу, стеклянной колбой вниз подается ККЛ. Вращающейся цепью, закрепленной на приводе происходит измельчение стеклянной колбы с люминофором до размеров частиц 1–5 мм. Привод крепится на приварной штанге. Другим решением может являться крепление привода на фланце с подшипником. После измельчения стеклянной колбы, ЭПРУ с цоколем выталкивается через отверстие в трубе, конструктивные разме-

ры которого подобраны по типоразмеру лампы и по наклонной металлической пластине попадают в технологический контейнер. Измельченный стеклобой с люминофором попадают в модуль демеркуризации. Через патрубок модуль заполняется 35 л раствора демеркуризатора. В модуле происходит реакция окисления и взаимодействия с раствором полисульфида кальция и образование сульфида ртути. Привод-редуктор вращает перфорированный шнек и полученная смесь стеклобоя, люминофора и сульфида ртути поднимаясь по модулю через выгрузное отверстие попадает в бункер-накопитель. Перфорация шнека позволяет избежать излишних потерь раствора демеркуризатора, а бункер-накопитель снабжен герметичной крышкой. Установка помещается на подвижную платформу на резиновом ходу. Конусная часть модуля демеркуризации снабжена подвижным креплением к платформе, что позволяет легко опустить установку и демонтировать шнек через крепление на фланце. Для слива остатков демеркуризирующего раствора внизу модуля предусмотрен сливной кран с вентилем. Демеркурирующий модуль снабжен фланцем, к которому присоединяется модуль-адсорбер с сорбентом НУМС-Ж. Адсорбер представляет собой металлическую трубу, в нижней и верхней части которой находится перфорированная фторопластовая вставка. Адсорбер заполняется сорбентом НУМС-Ж [32]. Привод модуля – канальный вентилятор. На основании представленной эскизно-конструкторской документации на ЭО были разработаны чертеж общего вида в соответствии с ГОСТ 2.102-68 и спецификация в соответствии с ГОСТ 2.106, собрана экспериментальная установка УУРО и разработана программа и методика исследовательских испытаний экспериментального оборудования (УУРО) [27].



**Рис. 3. Принципиальная технологическая схема процесса утилизации компактных люминесцентных ламп**

Технологические характеристики установки: производительность – 1000–1500 ламп/час; класс опасности отходов – IV (малоопасные); виды перерабатываемых РСО: КЛЛ, трубчатые ЛЛ, твердые РСО; потребление эл/эн – 0,9 кВт · ч; расход рабочего раствора окислителя (20% ХИ) – 45 л/смена; расход рабочего раствора демеркуризатора (5%  $\text{CaS}_n$  – 35–65 л/смена; количество обслуживающих работников – 1 чел. На созданной установке утилизации ртутьсодержащих отходов (УУРО) были проведены испытания по утилизации КЛЛ (загрузка 90 кг/час) и обезвреживание ртутьсодержащего стеклобоя путем обработки демеркуризационным раствором ( $\text{CaS}_n$ ) (содержание ртути 0,0038% мас, количество раствора  $\text{CaS}_n$  – 30 л/час, время демеркуризации 1 час) с иммобилизацией ртути и переводом в нерастворимое соединение – сульфид ртути; обеспечение остаточного загрязнения соединениями ртути цоколей и ЭПРУ до величин менее ПДК ртути в почве 2,1 мг/кг.

В ходе испытаний контролировали процесс очистки воздуха от паров ртути в адсорбере, заполненным сорбентом НУМС-Ј, содержание ртути в атмосферном воздухе менее ПДК ( $0,0003 \text{ мг/м}^3$ ) при максимальном содержании паров ртути в воздухе рабочей зоны не более  $0,01 \text{ мг/м}^3$ .

По завершении процесса демеркуризации, полученные твердые демеркуризованные продукты (стеклобой с люминофором) исследовали в ФГУ «ЦЛАТИ» на токсичность и содержание ртути в промывных водах. Получено заключение о безопасности отходов, которые можно отнести к твердым отходам IV класса опасности, согласно СанПиН 2.1.7.1322-03.

Таким образом, рассмотрены технологии демеркуризации твердых отходов. Анализ литературных данных показывает, что в известных и используемых в настоящее время установках демеркуризации люминесцентных ламп, как правило, используются комбинированные методы (термические, химические, термовакuumные), которые в целом приводят к получению безопасных отходов с выделением ценных компонентов, но предпочтение отдается РСО с большим содержанием ртути.

Отмечена актуальность разработки технологии демеркуризации твердых отходов с низким содержанием ртути, в частности отработанных ККЛ нового поколения, рост которых резко увеличился в связи с введением закона об энергосбережении. В связи с этим, было проведено исследование по выбору наиболее эффективного окислителя и демеркуризационного раствора для технологии демеркуризации КЛЛ. Показано, что наиболее перспективным окислителем является 20% раствор хлорной извести, а из ряда демеркуризационных растворов 5% раствор полисульфида кальция. Был разработан способ промышленного синтеза раствора полисульфида кальция и созданы на него технические условия. Для контроля технологического процесса демеркуризации РСО, была разработана методика определения сульфидной серы в растворе полисульфида кальция методом фотоколориметрии. Исследованы процессы окисления и демеркуризации КЛЛ, которые, что использование предлагаемого способа демеркуризации ртутьсодержащих отходов для их утилизации позволяет перевести металлическую ртуть в труднорастворимое соединение — сульфид ртути, при этом не требуется отделять сульфид ртути от отхода и получить преимущества: концентрацию ртути в водной вытяжке на уровне менее  $0,000002 \text{ мг/л}$ ; содержание ртути в воздухе над пробами после демеркуризации  $0,0022 \text{ мг/м}^3$  и перевести ртутьсодержащие отходы из I класса опасности в 4 класс опасности — безопасные [27].

Разработана принципиальная схема установки демеркуризации РСО и создана высокопроизводительная (более 1500 ламп/час) модульная установка по утилизации КЛЛ, где процесс демеркуризации осуществляется путем обработки окислителем, а затем демеркуризационным раствором полисульфида кальция с иммобилизацией ртути и переводом в нерастворимое соединение — сульфид ртути. Применение наиболее эффективного и дешевого в приготовлении демеркуризатора, раствора полисульфида ртути позволяет добиться минимально возможной себестоимости переработки компактных люминесцентных ламп, вплоть до 1–1,5 руб./шт.

*Результаты НИР получены при финансовой поддержке Министерства образования и науки, Госконтракт № 16.515.11.5022.*

### **Список литературы**

1. Неорганическая ртуть. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Вып 118. Пер. с англ. Женева: ВОЗ, 1994, 144 с.
2. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 52105-2003 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация и методы переработки ртутьсодержащих отходов. Основные положения» (принят постановлением Госстандарта РФ от 3 июля 2003 г. N 235-ст). Дата введения 1 июля 2004 г.
3. Tsuda, Shinji (Safety Land Co., Ltd., Japan). Jpn. Kokai Tokkyo Koho. Device and method for distilling mercury from waste fluorescent powder. JP 2010058099 A 18 Mar 2010, 7 pp.

4. Shiokawa, Takahiro (JFE Mineral Co., Ltd., Japan). Jpn. Kokai Tokkyo Koho. Pretreatment for recovery of rare earth metals from waste fluorescent lamps and method for the recovery Hg by using solids obtained by the pretreatment. JP 2010042346 A, 25 Feb. 2010, 5 pp.
5. Oda, Keigo; Shiromaru, Nobuhiko; Ando, Hiroki; Aoyama, Kotaro (Hitachi Plant Technologies Co., Ltd., Japan). Jpn. Kokai Tokkyo Koho. Apparatus and method for waste gas treatment with improved mercury removal efficiency. JP 2009291734 A, 17 Dec. 2009, 9 pp.
6. Bao, Liangyu; Huang, Lizun; Liu, Minqiang (Peop. Rep. China ). Dry method for recovering harmful gaseous substances by condensation during treating waste batteries CN 101623563 A 13 Jan 2010, 4 pp.
7. Qi, Wukai; Sun, Yanhui; Nan, Junmin (School of Chemistry and Environment, South China Normal University, Guangzhou 510006, Peop.Rep. China) Progress in recovery and treatment of waste fluorescent lamp. Huanjing Wuran Yu Fangzhi, 31(9), 95-98, 102 (Chinese) 2009.
8. Navarro A., Canadas I., Martinez D., Rodriguez J., Mendoza J.L. (Department of Fluid Mechanics, ETSEIT, Polytechnic University of Catalonia (UPC), Barcelona 08222, Spain). Solar Energy, 83(8), 1405-1414 (English) 2009. 9. Fan, Gansheng; Zou, Zuqiao; Gui, Biquan (Wuhan Iron and Steel (Group) Corp., Peop. Rep. China). Method for recovery of waste mercury. Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu CN 101701293 A 5 May 2010, 4pp. (Chinese).
10. Matsunaga, Takehiro; Okada, Ken; Akiyoshi, Miyako; Usuba, Shiyuu; Ueda, Masaya; Hayashi, Koichi; Asahina, Kiyoshi (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology; Kobe Steel, Ltd., Japan). Method of processing waste material. U.S. Pat. Appl. Publ. US 20100292525 A1 18 Nov 2010, 9 pp.
11. Левченко Л.М., Косенко В.В., Галицкий А.А., Митькин В.Н. Способ утилизации ртутьсодержащих отходов / Патент RU 2400 545, опубл. 27.09.2010, бюл. № 27.
12. Ковалев В.Н., Горбенко А.Н., Тимофеев В.Н., Тен В.В. Способ термической демеркуризации ртутьсодержащих материалов и устройство для его реализации. Патент Номер заявки: RU20000123630 20000915.
13. Климов О.М., Голубин А.К., Мельниченко А.С. Способ очистки твердых отходов от ртути. Патент RU2148662. Дата публикации: 2000-05-10.
14. Бендер Ханс Юрген DE, Фридрих Хольгер (DE), ГУТ Йозеф (DE). Способ удаления ртути из загрязненных ртутью растворов. Патент. RU 2323269.
15. Альперт В.А., Пикин А.И. Способ термической демеркуризации загрязненных ртутью материалов и устройство для его осуществления. Патент РФ № 1838440.
16. Kharapunov V.E., Isakova R.A., Levintov B.L., Kalb P.D., Kamberov I.M., Trebukhov S.A. Demercuration of representative soil samples of the joint stock company Pavlodar Chemical Plant. (Inst. Metall. i Obogashch., MON RK, Almaty, Kazakhstan). Bayandamalary Kazakstan Respublikasy Ulttyk Gylym Akademiyasynyn, (5), 84–90 (Russian) 2005.
17. Apparatus for collecting waste fluorescent lamps. Seo, Sun Ja (S. Korea). Repub. Korean Kongkae Taeho Kongbo KR 2010012547 A, 8 Feb. 2010, 11 pp.
18. Available at: <http://www.npk-mercury.ru/equipment>.
19. Available at: <http://www.metec.ru/udl200.html>.
20. Макаренченко Г.В., Тимошин В.Н. Установка утилизации люминесцентных ламп и способ их утилизации. Патент RU 2365432. Дата публикации: 27.08.2009.
21. Марковский Г.Е. Способ переработки люминесцентных ламп. Патент РФ № 2106421. Оpubл. 1998.03.10.
22. Макаренченко Г.В.; Косорукова Н.В. Способ демеркуризации объектов, загрязненных ртутью, и состав для демеркуризации «Э-2000+». Патент РФ 2175664. Оpubл. 2001.11.10.
23. Тимошин В.Н., Косорукова Н.В., Макаренченко Г.В. Способ обезвреживания ртутьсодержащего люминофора. Патент РФ 2280670. Оpubл 20.07.2006, 3с.
24. Гамаюнов С.Н. Способ демеркуризации люминесцентных ламп. Патент РФ № 2052527. Оpubл. 1996.01.20.
25. Трунин Е.Б., Родионов С.В., Мамушкин А.А. Способ утилизации ртутьсодержащих люминесцентных ламп. Патент РФ № 2281311. Оpub. 2006.08.10.



26. Левченко Л.М., Галицкий А.А., Косенко В.В., Сагидуллин А.К. Разработка полупромышленного синтеза раствора полисульфида кальция и определение содержания сульфид-иона в растворе // Журнал прикладной химии, 2015, т. 88, вып. 9, с. 15–20.
27. Левченко Л.М., Косенко В.В., Галицкий А.А., Сагидуллин А.К. «Способ утилизации твердых ртутьсодержащих отходов и устройство для его осуществления» Патент № 2522676. Опубл.20.07.2014 г. Бюл. № 20.
28. Левченко Л.М., Галицкий А.А., Косенко В.В., Громилов С.А., Сагидуллин А.К. Технология демеркуризации компактных люминесцентных ламп // Труды десятой Всероссийской научно-технической конференции «Приоритетные направления развития науки и технологий» в сети Internet, октябрь, 2011.
29. Левченко Л.М., Косенко В.В., Галицкий А.А., Бадмаева Ж.О. Технологии демеркуризации твердых отходов // Журнал Химия в интересах устойчивого развития, 20, 2012, с.125-132.
30. Levchenko L.M., Galitsky A.A., Kosenko V.V., Mitkin V.N., Sagidullin A.K. and Shavinsky B.M. Adsorbents for mercury vapor recovery in demercuration technology // Adsorption Science and Technology. 2014, v. 32, № 8, p. 693–705.
31. Косенко В.В., Левченко Л.М. Демеркуризационный раствор для утилизации отработанных ртутьсодержащих ламп и других твердых отходов / Технические условия, ТУ 2153-002-5481766-0001. Утвержд.05.05.2009.
32. Левченко Л.М. Сорбент углеродный нанопористый марки НУМС-Ж. ТУ 2161-001-03533984-2012.

## References

1. *Neorganicheskaya rtut'. Gigenicheskie kriterii sostoyaniya okruzhayushchey sredy. Per. s angl. VOZ* [Inorganic mercury. Hygienic Criteria of the Environmental Health. Trans. From English, World Health Organization], Zheneva. 1994, Vol. 118. 144 p.
2. *Natsional'nyy standart RF GOST R 52105-2003 «Resursosberezhenie. Obrashchenie s otkhodami. Klas-sifikatsiya i metody pererabotki rtut'soderzhashchikh otkhodov. Osnovnye polozeniya» (prinyat postanovleniem Gosstandarta RF ot 3 iyulya 2003 g. No. 235-st). Data vvedeniya 1 iyulya 2004 g.* [National Standard of the Russian Federation GOST 52105-2003 «Resource Saving. Waste management. Classification and processing methods for mercury-containing wastes. Basic Provisions» (adopted by the RF Gosstandard resolution No. 235-th of July 3rd, 2003) Implementation date – 1st of July 2004].
3. Tsuda, Shinji (Safety Land Co., Ltd., Japan). Jpn. Kokai Tokkyo Koho. Device and method for distilling mercury from waste fluorescent powder. JP 2010058099 A 18 Mar 2010, 7 pp.
4. Shiokawa, Takahiro (JFE Mineral Co., Ltd., Japan) (2010) Pretreatment for recovery of rare earth metals from waste fluorescent lamps and method for the recovery Hg by using solids obtained by the pretreatment. JP 2010042346 A, Jpn. Kokai Tokkyo Koho 25 Feb., 5 pp.
5. Oda, Keigo; Shiromaru, Nobuhiko; Ando, Hiroki; Aoyama, Kotaro (Hitachi Plant Technologies Co., Ltd., Japan) (2009) Apparatus and method for waste gas treatment with improved mercury removal efficiency. JP 2009291734 A, Jpn. Kokai Tokkyo Koho. 17 Dec., 9 pp.
6. Bao, Liangyu; Huang, Lizun; Liu, Minqiang (Peop. Rep. China) (2010) Dry method for recovering harmful gaseous substances by condensation during treating waste batteries CN 101623563 A 13 Jan, 4 pp.
7. Qi, Wukai; Sun, Yanhui; Nan, Junmin (School of Chemistry and Environment, South China Normal University, Guangzhou 510006, Peop.Rep. China) (2009) Progress in recovery and treatment of waste fluorescent lamp. Huanjing Wuran Yu Fangzhi, 31(9), 95–98, 102 (Chinese).
8. Navarro A., Canadas I., Martinez D., Rodriguez J., Mendoza J.L. (Department of Fluid Mechanics, ETSEIT, Polytechnic University of Catalonia (UPC), Barcelona 08222, Spain) (2009) Solar Energy, 83(8), 1405–1414 (English).
9. Fan, Gansheng; Zou, Zuqiao; Gui, Biquan (Wuhan Iron and Steel (Group) Corp., Peop. Rep. China) (2010) Method for recovery of waste mercury. Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu CN 101701293 A, 5 May, 4 p. (Chinese).

10. Matsunaga, Takehiro; Okada, Ken; Akiyoshi, Miyako; Usuba, Shiyuu; Ueda, Masaya; Hayashi, Koichi; Asahina, Kiyoshi (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology; Kobe Steel, Ltd., Japan). Method of processing waste material. U.S. Pat. Appl. Publ. US 20100292525 A1 18 Nov 2010, 9 pp.
11. Levchenko L.M., Kosenko V.V., Galitsky A.A., Mitkin V.N. *Sposob utilizatsii rtut'soderzhashchikh otkhodov. Patent RU 2400 545, opubl. 27.09.2010, byul. No. 27* [Method for recycling of mercury-containing wastes. Patent RU 2400 545, published on 27.09.2010, bul. No. 27].
12. Kovalev V.N., Gorbenko A.N., Timofeev V.N., Ten V.V. *Sposob termicheskoy demerkurizatsii rtut'soderzhashchikh materialov i ustroystvo dlya ego realizatsii. Patent Nomer zayavki: RU20000123630 20000915* [Method for thermal demercurization of mercury-containing wastes and device for its implementation. Patent RU20000123630 20000915].
13. Klimov O.M., Golubin A.K., Melnichenko A.S. *Sposob ochistki tverdykh otkhodov ot rtuti. Patent RU2148662. Data publikatsii: 2000-05-10* [Method for demercurization of solid wastes treatment. Patent RU2148662. Publication date 2000-05-10].
14. Bender Hans Jьrgen DE, Friedrich Holger (DE), Joseph GUT (DE). *Sposob udaleniya rtuti iz zagryaznennykh rtut'yu rastvorov. Patent. RU 2323269* [Method of demercurization of mercury-contaminated solutions. Patent RU 2323269].
15. Alpert V.A., Pikin A.I. *Sposob termicheskoy demerkurizatsii zagryaznennykh rtut'yu materialov i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya. Patent RF No. 1838440* [Method for thermal demercurization of mercury-contaminated materials and device for its implementation. Patent of the Russian Federation No. 1838440].
16. Kharapunov V.E., Isakova R.A., Levintov B.L., Kalb P.D., Kamberov I.M., Trebukhov S.A. (2005) Demercuration of representative soil samples of the joint stock company Pavlodar Chemical Plant. (Inst. Metall. i Obogashch., MON RK, Almaty, Kazakhstan). Bayandamalary Kazakstan Respublikasy Ulttyk Gylym Akademiyasynyn, (5), 84–90 (Russian).
17. Apparatus for collecting waste fluorescent lamps. Seo, Sun Ja (S. Korea). Repub. Korean Kongkae Taeho Kongbo KR 2010012547 A, 8 Feb. 2010, 11 pp.
18. Available at: <http://www.npk-mercury.ru/equipment>.
19. Available at: <http://www.metec.ru/udl200.html>.
20. Makarchenko G.V., Timoshin V.N. *Ustanovka utilizatsii lyuminescentnykh lamp i sposob ikh utilizatsii. Patent RU 2365432. Data publikatsii: 27.08.2009* [Installation for recycling of luminescent lamps and method for their recycling. Patent RU 2365432. Publication date 27.08.2009].
21. Markovsky G.E. *Sposob pererabotki lyuminescentnykh lamp. Patent RF No. 2106421. Opubl. 1998.03.10* [Method for recycling of luminescent lamps. Patent of the Russian Federation No. 2106421. Publication date 1998.03.10].
22. Makarchenko G.V., Kosorukova N.V. *Sposob demerkurizatsii ob'ektov, zagryaznennykh rtut'yu, i sostav dlya demerkurizatsii «E-2000+». Patent RF 2175664. Opubl. 2001.11.10* [Method for demercurization of mercury-contaminated objects and chemical composition for demercurization «E-2000+». Patent of the Russian Federation 2175664. Publication date 2001.11.10].
23. Timoshin V.N., Kosorukova N.V., Makarchenko G.V. *Sposob obezvrezhivaniya rtut'soderzhashchego lyuminofova. Patent RF 2280670. Opubl. 20.07.2006, 3 s.* [Method for neutralization of mercury-containing luminescent material. Patent of the Russian Federation 2280670. Publication date 20.07.2006, 3 p].
24. Gamayunov S.N. *Sposob demerkurizatsii lyuminescentnykh lamp. Patent RF No. 2052527. Opubl. 1996.01.20* [Method for demercurization of luminescent lamps Patent of the Russian Federation No. 2052527. Publication date 1996.01.20].
25. Trunin E.B., Rodionov S.V., Mamushkin A.A. *Sposob utilizatsii rtut'soderzhashchikh lyuminescentnykh lamp. Patent RF No. 2281311. Opub. 2006.08.10* [Method for utilization of mercury-containing luminescent lamps. Patent of the Russian Federation No. 2281311. Publication date 2006.08.10].
26. Levchenko L.M., Galitsky A.A., Kosenko V.V., Sagidullin A.K. (2015) *Razrabotka polupromyshlennogo sinteza rastvora polisulfida kal'tsiya i opredelenie soderzhaniya sulfid-ionov v rastvore* [Development of semi-industrial synthesis of solution of calcium polysulfide and determination of sulfide ion content in the solution] *Zhurnal prikladnoy khimii* [Journal of applied chemistry], No. 88, vol. 9, pp. 15–20.



27. Levchenko L.M., Kosenko V.V., Galitsky A.A., Sagidullin A.K. (2014) *Sposob utilizatsii tverdykh rtut'soderzhashchikh otkhodov i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya*. Patent No. 2522676. Opubl. 20.07.2014 g. Byul. No. 20 [Method for utilization of solid mercury-containing wastes and device for its implementation. Patent No. 2522676. Publication date 20.07.2014 No. 20].
28. Levchenko L.M., Galitsky A.A., Kosenko V.V., Gromilov S.A., Sagidullin A.K. (2011) *Tekhnologiya demerkurizatsii kompaktnykh lyuminestsentnykh lamp* [Technology of demercurization of compact luminescent lamps] *Trudy desyatoy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Prioritetnye napravleniya razvitiya nauki i tekhnologiy» v seti Internet* [Scientific works of the X All-Russian Scientific and Technical Conference «Priority directions of scientific and technological development» on the Internet].
29. Levchenko L.M., Kosenko V.V., Galitsky A.A., Badmaeva Zh.O. (2012) *Tekhnologii demerkurizatsii tverdykh otkhodov* [Technologies of demercurization of solid wastes] *Zhurnal Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for sustainable development. Journal], 20, pp. 125–132.
30. Levchenko L.M., Galitsky A.A., Kosenko V.V., Mitkin V.N., Sagidullin A.K. and Shavinsky B.M. (2014) Adsorbents for mercury vapor recovery in demercurization technology. *Adsorption Science and Technology*, v. 32, No. 8, p. 693–705.
31. Kosenko V.V., Levchenko L.M. (2009) *Demerkurizatsionnyy rastvor dlya utilizatsii otrabotannykh rtut'soderzhashchikh lamp i drugikh tverdykh otkhodov*. *Tekhnicheskie usloviya, TU 2153-002-5481766-0001*. Utverzhd. 05.05.2009 [Demercurization solution for utilization of exhaust mercury-containing lamps and other solid wastes. Technical specifications 2153-002-5481766-0001. Approved on 05.05.2009].
32. Levchenko L.M. (2012) Sorbent uglerodnyy nanoporisty marky NUMS-J. TU 2161-001-03533984-2012 [Nanoporous carbon sorbent NUMS-J. Technical Specifications 2161-001-03533984-2012].

## КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ – ФАЗОВОЕ НАПОЛНЕНИЕ – ЗЕРЕННАЯ СТРУКТУРА – МАКРООТКЛИКИ В СЕГНЕТОЖЕСТКИХ ПЬЕЗОКЕРАМИКАХ НА ОСНОВЕ PZT – СИСТЕМЫ

**И.Н. Андриюшина**, ст. науч. сотр. НИИ физики ЮФУ, г. Ростов-на-Дону,  
канд. физ.-мат. наук, [futur6@mail.ru](mailto:futur6@mail.ru)

**К.П. Андриюшин**, науч. сотр. НИИ физики ЮФУ, г. Ростов-на-Дону,  
канд. физ.-мат. наук, [futur6@mail.ru](mailto:futur6@mail.ru)

**Л.А. Шилкина**, науч. сотр. НИИ физики ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, [lid-shilkina@yandex.ru](mailto:lid-shilkina@yandex.ru)

**С.И. Дудкина**, науч. сотр. НИИ физики ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, [s.i.dudkina@yandex.ru](mailto:s.i.dudkina@yandex.ru)

**А.В. Нагаенко**, науч. сотр. Научно-конструкторское Бюро «Пьезоприбор»,  
г. Ростов-на-Дону, канд. техн. наук, [lesastro@mail.ru](mailto:lesastro@mail.ru)

**И.А. Вербенко**, дир. НИИ физики ЮФУ, г. Ростов-на-Дону, д-р физ.-мат. наук,  
[ilich001@yandex.ru](mailto:ilich001@yandex.ru)

**Л.А. Резниченко** зав. отд, проф. НИИ физики ЮФУ, д-р физ.-мат. наук,  
[lareznichenko@sfedu.ru](mailto:lareznichenko@sfedu.ru)

*Исследованы структура, микроструктура, диэлектрические и пьезоэлектрические свойства двух сегнетожестких материалов на основе системы  $PbTiO_3 - PbZrO_3$  (PZT) – ПКР-13, ПКР-80, полученные по обычной керамической технологии. Выявлены в них корреляционные связи между элементным составом, фазовым наполнением, зеренной структурой и макрооткликами. Показана возможность изготовления разработанных сегнетожестких материалов без использования метода горячего прессования с параметрами, позволяющими их применять в частотно-селективных устройствах в качестве фильтров с варьируемой шириной полосы пропускания.*

**Ключевые слова:** кристаллическая структура, зеренная структура, керамика, твердые растворы, жидкие фазы, сегнетожесткость, цирконат титанат свинца, частотно-селективные устройства.

## CORRELATIONS: ELEMENTAL COMPOSITION – PHASE FILLING – STRUCTURE OF GRAIN – MACRO-RESPONSES IN HARD FERROELECTRIC PIEZOCERAMICS ON THE BASE OF THE PZT SYSTEM

**I.N. Andryushina**, Senior Researcher, Research institute of physics, Rostov-on-Don,  
Doctor of Physics and Mathematics, [futur6@mail.ru](mailto:futur6@mail.ru)

**K.P. Andryushin**, Researcher, Research institute of physics, Rostov-on-Don,  
Doctor of Physics and Mathematics, [futur6@mail.ru](mailto:futur6@mail.ru)

**L.A. Shilkina**, Researcher, Research institute of physics, Rostov-on-Don,  
[ld-shilkina@yandex.ru](mailto:ld-shilkina@yandex.ru)

**S.I. Dudkina**, Researcher, Research institute of physics, Rostov-on-Don,  
[s.i.dudkina@yandex.ru](mailto:s.i.dudkina@yandex.ru)

**A.V. Nagaenko**, Researcher, Scientific design-engineering office «Piezopribor»  
[esastro@mail.ru](mailto:esastro@mail.ru)

**I.A. Verbenko**, Director, Research institute of physics, Rostov-on-Don, Ph. D.  
of Physics and Mathematics, [ilich001@yandex.ru](mailto:ilich001@yandex.ru)

**L.A. Reznichenko**, Head of Department, Research institute of physics, Rostov-on-Don,  
Ph.D. of Physics and Mathematics, [lareznichenko@sfedu.ru](mailto:lareznichenko@sfedu.ru)

*The structure, microstructure, dielectric and piezoelectric properties of two ferroelectric materials based on the  $\text{PbTiO}_3\text{-PbZrO}_3$  (PZT) -RCP-13, PKR-80 system, obtained by conventional ceramic technology are studied. Correlation relations between elemental composition, phase filling, structure of grain, and macro-responses are revealed in them. It is shown that it is possible to fabricate the developed hard ferroelectric materials without using the hot pressing method with parameters that allow them to be used in frequency-selective devices as filters with variable bandwidth.*

**Keywords:** crystal structure, structure of grain, ceramics, solid solutions, liquid phases, ferrofluidity, zirconate lead titanate, frequency-selective devices.

В последнее время в мировом производстве функциональных материалов достигнут важный технологический предел использования традиционных керамических и композиционных сред, свойства которых организуют и конструируют таким образом, чтобы они могли удовлетворить конкретному назначению (исполняемой функции) контролируемым образом. Одним из современных трендов становится направление, связанное с интеллектуализацией элементной базы, то есть с переходом к конкурентоспособным материалам третьего поколения, способным преобразовывать один вид энергии в другой, самодиагностировать свой статус, противодействовать внешним факторам и адаптироваться к ним после оценки характера оказываемых воздействий и собственного состояния (активные, или интеллектуальные материалы). Поскольку на современном этапе развития космических технологий, предъявляются жесткие требования к рабочим характеристикам используемым в них материалам, предпринимаются активные попытки разработать новые материалы, в том числе, с высокой стабильностью резонансной частоты, применяющиеся в частотно-селективных устройствах в качестве фильтров с варьируемой шириной полосы пропускания. Анализ литературы показал, что в качестве основ таких материалов выступают сегнетожесткие (СЖ) гетероструктуры – многофазные твердые растворы (ТР) на основе системы  $\text{PbTiO}_3\text{-PbZrO}_3$  (PZT) (важнейшие требования, предъявляемые к ним – высокая стабильность резонансной частоты (минимальные значения  $(\delta f_0/f_T)$ ), что широко используется в авиационно-космической технике в устройствах дальней космической связи для выделения и усиления слабого сигнала).

Принимая во внимание, что разработка нового поколения высокоэффективных сегнетопьезоэлектрических керамических материалов (СПКМ) и совершенствование технологий их производства непосредственно связаны с решением фундаментальной проблемы материаловедения сегнетоэлектриков: определением закономерностей формирования физических свойств СПКМ и возможностей управления ими с помощью внешних воздействий; - актуальным представляется проведение исследований, направленных на выявление корреляционных связей между элементным составом, фазовым наполнением, зеренной структурой и макрооткликами в группе СЖ материалов (ПКР-13, ПКР-80), ранее получаемых только методом горячего прессования.

#### **Объекты исследования, методы получения образцов**

В качестве объектов исследования выступили материалы ПКР-13 (1), ПКР-80 (2), разработанные в НИИ физики ЮФУ [1].

Образцы получены по обычной керамической технологии (ОКТ), включающей двухстадийный твердофазный синтез и спекание без применения извне приложенного давления (технологические регламенты см. в табл. 1). Оптимальные температуры синтеза выбирали минимальными, но достаточными для образования беспримесного конечного продукта. Это облегчает помол и способствует высокой активности свинецсодержащих оксидных порошков в процессе их тепловой обработки. Для спекания использовались специальные силитовые печи с мощной футеровкой из шамотового кирпича, обеспечивающего достаточное теплосбережение.

Таблица 1

Режимы синтеза и спекания материалов типа ПКР

| Материал | Температура и продолжительность обжига шихты на 1-й и 2-й стадиях |                      |                    |                      | Температура спекания | Время изотермической выдержки |
|----------|-------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|
|          | T <sub>1</sub> , К                                                | T <sub>1</sub> , час | T <sub>2</sub> , К | τ <sub>2</sub> , час | T <sub>сп</sub> , К  | τ <sub>сп</sub> , час         |
| (1)      | 1123                                                              | 6                    | 1143               | 6                    | 1493                 | 2                             |
| (2)      |                                                                   |                      |                    |                      | 1433                 | 2                             |

Режим спекания: до 500 °С и скорость нагрева 75 град/час. (здесь выжигается связка- поливиниловый спирт, ПВС); от 500 до 1000 °С ~ 300 град./час. и выше 1000 °С до температуры спекания – ~ 75 град./час. Время выдержки при максимальной температуре для пробных заготовок 1,5 часа. Далее следует естественное, медленное охлаждение в течение ~ 20 часов вместе с печью до температуры окружающей среды. Весь цикл спекания составляет одни сутки. Оценка качества получаемого керамического спека проведена по достигнутой относительной плотности керамики  $\rho_{отн}$ .

Поисковые измерительные образцы изготавливали в виде дисков ( $\varnothing 10 \times 1$  мм или  $\varnothing 10 \times 0,5$  мм) с серебросодержащими электродами.

Поляризация образцов производилась в жидком диэлектрике -четырёххлористом углеороде (CCl<sub>4</sub>) при напряженности электрического поля (4–5) кВ/мм в течение 1 мин.

#### Методы исследования

Рентгенографические исследования объектов (1), (2) выполнялись методом порошковой дифракции на дифрактометре ДРОН-3 с использованием  $\text{Co}_{K\alpha}$  излучения. Параметры ячейки рассчитывались по стандартной методике, ошибка измерения параметров составляла:  $\Delta a = \Delta b = \Delta c = \pm 0.003 \text{ \AA}$ ,  $\Delta V = \pm 0.05 \text{ \AA}^3$ , где  $a, b, c$  – параметры,  $V$  – объем тетрагональной (Т) ячейки,  $\delta$  – однородный параметр деформации, рассчитанный по формуле для Т-фазы  $2/3(c/a-1)$ .

Определение измеренной ( $\rho_{изм.}$ ) плотности образцов осуществляли методом гидростатического взвешивания, где в качестве жидкой среды использовали октан, плотность рассчитывали по формуле  $\rho_{изм.} = (\rho_{окт} \cdot m_1) / (m_2 - m_3 + m_4)$ , где  $\rho_{окт}$  – плотность октана,  $m_1$  – масса сухой заготовки,  $m_2$  – масса заготовки, насыщенной октаном,  $m_3$  – масса насыщенной заготовки, взвешенной в октане с подвесом,  $m_4$  – масса подвеса для заготовки. Расчет рентгеновской плотности ( $\rho_{рентг.}$ ) производили по формуле:  $\rho_{рентг.} = 1.66 \cdot M/V$ , где  $M$  – вес формульной единицы в граммах,  $V$  – объем перовскитной ячейки в  $\text{\AA}^3$ . Относительную плотность ( $\rho_{отн.}$ ) рассчитывали по формуле  $(\rho_{изм.} / \rho_{рентг.}) \cdot 100\%$ .

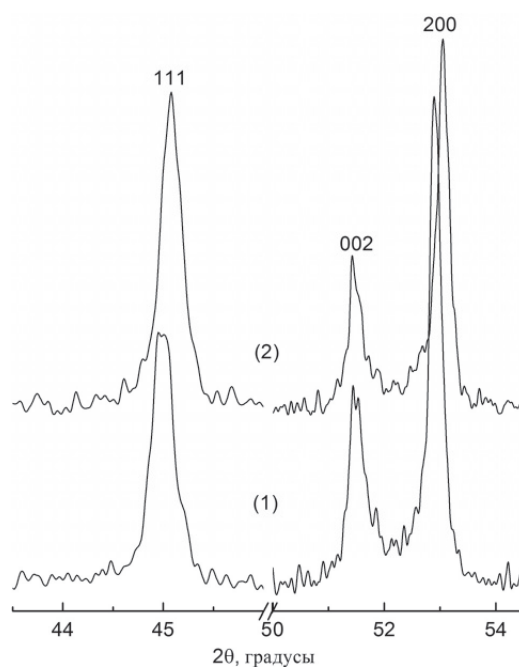
Для исследования микроструктуры сколов образцов использовали сканирующий электронный микроскоп JSM – 6390L (Япония) с системой микроанализаторов фирмы Oxford Instruments (Великобритания). Разрешение микроскопа до 1,2 нм при ускоряющем напряжении 30 кВ (изображение во вторичных электронах), пределы ускоряющего напряжения – от 0,5 до 30 кВ, увеличение от  $\times 10$  до  $\times 1000000$ , ток пучка до 200 нА.

Измерения диэлектрических, пьезоэлектрических и сегнетоэластических (упругих) характеристик проводились при комнатной температуре в соответствии с ОСТ 11 04487 (определялись  $T_K$  – температура Кюри,  $K_p$  – коэффициент электромеханической связи планарной моды колебаний,  $\epsilon_{33}T/\epsilon_0$  – относительная диэлектрическая проницаемость поляризованных образцов,  $QM$  – механическая добротность,  $|d_{31}|$  – пьезомодуль,  $|g_{31}|$  – пьезоэлектрический коэффициент (пьезочувствительность),  $\delta f_0/f_r$  – изменение резонансной частоты).

### Экспериментальные результаты и обсуждение

Рентгенофазовый анализ показал, что все образцы содержат очень малое количество  $ZrO_2$  (относительная интенсивность сильной линии не превышает 2%), кристаллизуются в структуре типа перовскита и имеют тетрагональную (Т) симметрию.

На рис. 1 представлены фрагменты рентгенограмм материалов (1), (2), включающие дифракционные отражения 111, 002 и 200. Видно, что отражение 002 состава (1) расщепляется на два пика, при этом отражение 200 остается одиночным. Аналогичный эффект наблюдался нами при исследовании ТР системы  $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$  [2, 3] и свидетельствует о том, что в ТР сосуществуют две Т фазы, немного отличающиеся параметром  $c$ . Состав (2), в отличие от состава (1), является однофазным. Повышение фона между отражениями 002 и 200 может быть связано с присутствием в образцах кластеров моноклинной фазы, являющейся промежуточной фазой при фазовом  $T \rightarrow$  ромбоэдрическом переходе [4–6].



**Рис. 1. Фрагменты рентгенограмм твердых растворов (материалов) (1), (2), включающие дифракционные отражения 111, 002 и 200**

В табл. 2. приведены параметры Т ячейки и плотности керамик: экспериментальная, рентгеновская и относительная. Как видно из данных таблицы, повышение температуры спекания не привело к существенному повышению плотности керамики и практически не изменило параметры ячейки (расхождения находятся в пределах ошибки измерения). В то же время, несмотря на близкие структурные параметры и плотности керамик, материалы (1) и (2) отличаются фазовым состоянием: первый состоит из двух – Т фаз, а второй – однофазный, поэтому можно ожидать отличие как в керамических характеристиках (микроструктура), так и сегнетопьезо-свойствах этих материалов.

Анализ показанных на рис. 2 фрагментов микроструктур двух анализируемых материалов выявил принципиальную разницу в характере их зеренного строения: мелкозернистость и плотноупакованность кристаллитов в (1) и формирование гигантских, хаотически размещенных и окаймленных толстыми межкристаллитными прослойками зерен в (2). Причина

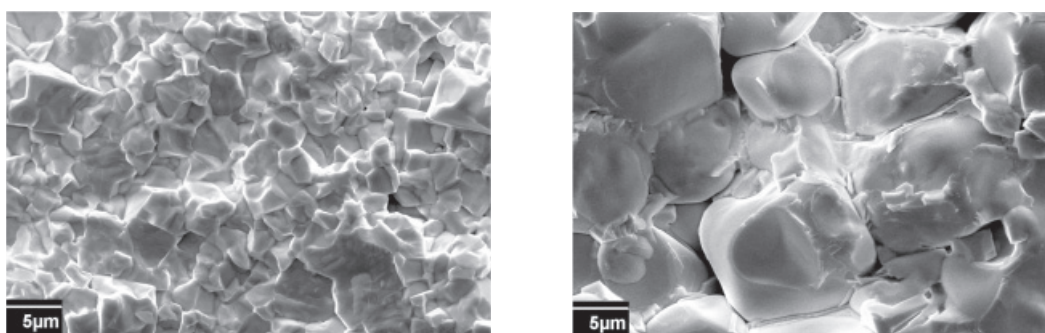


наблюдаемого, несомненно, связана со спецификой качественно-количественного элементного состава каждого из материалов, обуславливающей, в определенной мере, их фазовые состояния и характер протекающих рекристаллизационных процессов. Так, присутствие в составе химических композиций и в (1), и в (2) заметного количества ионов марганца обуславливает их СЖ [7] – достаточно высокие  $\delta$ ,  $Q_m$ , низкие  $\text{tg}\delta$  [8]. Это же определяет и формирование мелкозернистой структуры в (1) и в других сегнетоактивных материалах этой группы [9]. Дополнительным фактором, сдерживающим рост зерен в (1), является его более сложный, чем в (2), фазовый состав. Сосуществование в (1) двух Т-искаженных кристаллических структур с близкими параметрами элементарных ячеек (рис. 1) и варьируемым в процессе синтеза и спекания материала их количественным соотношением, на фоне которого протекают рекристаллизационные процессы, благоприятствует неоднородности состава композиции и связанной с ней возможности одновременного возникновения нескольких центров рекристаллизации с последующим ростом мелких зерен. С межфазными взаимодействиями в процессе тепловой обработки исследуемых сред может быть связано и возникновение эффекта Хэвдалла – повышение реакционной [10] (в нашем случае - рекристаллизационной) активности в результате (и / или) в процессе таких взаимодействий, что также способствует одномоментному возникновению множества центров рекристаллизации, обедненных композиционной массой, что генерирует формирование измельченного зеренного ландшафта. Заметим, что этот случай фазового расслоения ни в коей мере не адекватен таковому в морфотропной области, МО, где сосуществуют разносимметричные структуры: с одной стороны, уже исчезающая, с другой, – только возникающая [11, 12]. Это определяет минимум  $\delta$  в МО и, как следствие, максимум  $\bar{D}$  (средний размер зерен) в силу существующей обратной связи между этими характеристиками [13].

Таблица 2

**Параметры тетрагональной ячейки, экспериментальная, рентгеновская и относительная плотности керамик составов (1), (2)**

| Состав | $T_{\text{сп}}, ^\circ\text{C}$ | $a, \text{\AA}$ | $c, \text{\AA}$ | $c/a$ | $\delta$ | $V \text{\AA}^3$ | $\rho_{\text{эксп}}, \text{г/см}^3$ | $\rho_{\text{рент}}, \text{г/см}^3$ | $\rho_{\text{отн}}, \%$ |
|--------|---------------------------------|-----------------|-----------------|-------|----------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| (1)    | 1493                            | 4.028           | 4.132           | 1.026 | 0.017    | 67.04            | 7.69                                | 8.08                                | 95.17                   |
|        |                                 |                 | 4.125           | 1.024 | 0.016    | 66.92            |                                     | 8.09                                | 95.00                   |
| (2)    | 1433                            | 4.019           | 4.131           | 1.028 | 0.018    | 66.41            | 7.64                                | 8.10                                | 94.31                   |



**Рис. 2. Микроструктура керамик состава (1) – слева, (2) – справа**



В случае же материала (2), относящегося также к семейству СЖ материалов из-за реализации в нем свойственных этой группе электрофизических параметров, как мы увидели, формируется весьма крупнозернистая картина. Это, на наш взгляд, является результатом присутствия в составе (2) кремния, образующего жидкие фазы (ЖФ) [14], в свою очередь, способствующие стремительному росту зерен из-за облегчения массопереноса, поверхностной диффузии. Это предположение представляется разумным и подтверждается резким снижением температуры спекания,  $T_{сп.}$  в (2) по сравнению с  $T_{сп.}$  в (1), что свидетельствует об изменении характера рекристаллизационных процессов: от твердофазного в (1) к процессу с участием ЖФ в (2) [15].

Как известно [16], макроотклики сегнетоактивных материалов, в том числе, и анализируемых зависят как от состояния кристаллической структуры, так и микроструктуры, что и демонстрирует табл. 3. Так, в (1) с меньшей величиной  $\delta$  реализуются более высокие значения  $\epsilon_{33}T/\epsilon_0$ ,  $K_p$ ,  $d_{ij}$ . В (2), за счет цементирующего действия ЖФ, реализуются более низкие диэлектрические и механические потери, более высокая механическая добротность (табл. 3).

Таблица 3

Параметры СЖ материалов типа ПКР, полученных по ОКТ

| Состав | $T_k, K$ | $\epsilon_{33}T/\epsilon_0$ | $K_p$ | $ d_{31} $ ,<br>пКл/Н | $d_{33}$ ,<br>пКл/Н | $ g_{31} $ ,<br>мВм/Н | $\delta f_0/f_r, \%$<br>(99÷373K) | $tg\delta \cdot 10^2$<br>( $E = 50 \text{ В/см}$ ) | $Q_m$ |
|--------|----------|-----------------------------|-------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------|-------|
| (1)    | 607      | 900                         | 0.36  | 58                    | 155                 | 7.28                  | 0,20                              | 1.02                                               | 2010  |
| (2)    | 631      | 682                         | 0.27  | 37                    | 114                 | 6.13                  | -0,28                             | 0.61                                               | 2446  |

Реализуемые параметры материалов, полученных по ОКТ (массовой, дешевой, доступной, промышленной) адекватны аналогичным в ГП — объектах [1], что позволяет использовать исследованные материалы в частотно-селективных устройствах в качестве фильтров с варьируемой шириной полосы пропускания.

### Заключение

Таким образом, совершенно понятно, что, варьируя элементный состав материалов, их фазовое наполнение, характер зеренного строения, можно управлять эксплуатационными параметрами СЖ материалов в заданном направлении, удовлетворяя потребительский спрос на эти материалы со стороны реального сектора экономики страны.

*Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания (заявки № 3.6371.2017/БЧ, 3.6439.2017/БЧ, по ЮФУ №№ БЧ0110-11/2017-35, БЧ0110-11/2017-36), стипендии Президента РФ № СП-3197.2016.3. и с использованием оборудования Центров коллективного пользования «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел» НИИ физики и «Высокие технологии» Южного федерального университета.*

### Список литературы

1. Данцигер А.Я. Высокоэффективные пьезокерамические материалы. Справочник / А.Я. Данцигер, О.Н. Разумовская, Л.А. Резниченко и др. Ростов-на-Дону: Изд-во АО «Книга», 1994. 30 с.
2. Резниченко Л.А. Фазообразование в приморфотропной области системы  $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ , дефектность структуры и электромеханические свойства твердых растворов / Л.А. Резниченко, Л.А. Шилкина, О.Н. Разумовская и др. // ФТТ. 2009. Т. 51. № 5. С. 958–965.
3. Andryushina I.N. The PZT system ( $PbTi_xZr_{1-x}O_3$ ,  $0 \leq x \leq 1.0$ ): The real phase diagram of solid solutions (Room temperature) (Part 2) / I.N. Andryushina, L.A. Reznichenko, L.A. Shilkina et al // Ceramics International. 2013, vol. 39, № 2, pp. 1285–1292.
4. Noheda B. Structure and high-piezoelectricity in lead oxide solid solutions / B. Noheda // Current Opinion Solid State Mater. Sci. 2002, vol. 6, pp. 27–34.

5. Резниченко Л.А. Фазовая  $x$ -Т диаграмма реальных твердых растворов системы  $(1-x)\text{PbZrO}_{3-x}\text{PbTiO}_3$  ( $0.37 \leq x \leq 0.57$ ) / Л.А. Резниченко, Л.А. Шилкина, О.Н. Разумовская, Е.А. Ярославцева, С.И. Дудкина, О.А. Демченко, Ю.И. Юрасов, А.А. Есис, И.Н. Андрияшина / ФТТ. 2008. Т. 50. № 8. С. 1469–1475.
6. Andryushina I.N. The PZT system ( $\text{PbTi}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_3$ ,  $0 \leq x \leq 1.0$ ): High temperature  $x$ -ray diffraction studies. Complete  $x$ -T phase diagram of real solid solutions (Part 3) / I.N. Andryushina, L.A. Reznichenko, L.A. Shilkina, K.P. Andryushin, S.I. Dudkina // *Ceramics International*. 2013, vol. 39, pp. 2889–2901.
7. Резниченко Л.А. Роль марганца в «ужестчении» сегнетоэлектрических материалов / Л.А. Резниченко, О.Н. Разумовская, С.В. Гавриляченко // Сб-к трудов международной научно-практической конференции «Фундаментальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения» («Пьезотехника-99»). Ростов-на-Дону, 1999, Т. 1, с. 98–108.
8. Фесенко Е.Г. Новые пьезокерамические материалы / Е.Г. Фесенко, А.Я. Данцигер, О.Н. Разумовская. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1983, 156 с.
9. Сахненко В.П. Энергетическая кристаллохимия твердых растворов соединений кислородно-октаэдрического типа и моделирование пьезокерамических материалов / В.П. Сахненко, Н.В. Дергунова, Л.А. Резниченко. Ростов-на-Дону: Изд-во РГПУ, 1999. 322 с.
10. Hedvall J.A., Heuberger J.Z. *anorg. allg. Chem.*, 1922, vol. 49, p. 122.
11. Данцигер А.Я. Многокомпонентные системы сегнетоэлектрических сложных оксидов: физика, кристаллохимия, технология. Аспекты дизайна пьезоэлектрических материалов / А.Я. Данцигер, О.Н. Разумовская, Л.А. Резниченко и др. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2001–2002. Т. 1,2. 800 с.
12. Andryushina I.N. The PZT system ( $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ ,  $0.0 \leq x \leq 1.0$ ): Specific features of recrystallization sintering and microstructures of solid solutions (Part 1) / I.N. Andryushina, L.A. Reznichenko, V.A. Alyoshin, L.A. Shilkina et al. // *Ceramics International*. 2013, vol. 39, pp. 753–761.
13. Резниченко Л.А. Особенности морфотропного фазового перехода в системе  $(1-x)\text{NaNbO}_{3-x}\text{PbTiO}_3$  / Л.А. Резниченко, А.Я. Данцигер, О.Н. Разумовская и др. // Сб-к трудов Международной научно-практической конференции «Фундаментальные проблемы пьезоэлектроники» («Пьезотехника-95»). Ростов-на-Дону: Изд-во МП «Книга», 1995. Т. 2. С. 13–32.
14. Будников П.П. Реакции в смесях твердых веществ / П.П. Будников, А.М. Гинстлинг. М.: Изд-во литературы по строительству. 3-е испр. и дополн. изд., 1971. 488с.
15. Резниченко Л.А. Жидкая фаза в ниобатах щелочных металлов / Л.А. Резниченко, О.Н. Разумовская, Л.А. Шилкина, В.А. Алешин // Сб-к материалов 7-го Международного семинара по физике сегнетоэлектриков – полупроводников. Ростов-на-Дону: Изд-во МП «Книга», 1996. Вып. 6. С. 149–151.
16. Данцигер А.Я. Высокоэффективные пьезокерамические материалы. Оптимизация поиска / А.Я. Данцигер, О.Н. Разумовская, Л.А. Резниченко и др. Ростов-на-Дону: Изд-во «Пайк», 1995. 92 с.

## References

1. Danziger A.Y. (1994) *Vysokoeffektivnye p'ezokeramicheskie materialy. Spravochnik. A.Ya. Dantsiger, O.N. Razumovskaya, L.A. Reznichenko i dr.* [Highly efficient piezoceramic materials. Reference book. A.Y. Danziger, O.N. Razumovskaya, L.A. Reznichenko, et al.] *Izd-vo AO «Kniga»* [Publishing house «The Book»]. Rostov-on-Don, 30 p.
2. L.A. Reznichenko, L.A. Shilkina, O.N. Razumovskaya i dr. (2009) *Fazoobrazovanie v primorfotropnoy oblasti sistemy  $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ , defektnost' struktury i elektromekhanicheskie svoystva tverdykh rastvorov* [Phase formation in the primorphotropic region of the  $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$  system, structural defectiveness and electromechanical properties of solid solutions] *FTT* [Solid State Physics], No. 5, vol. 51, pp. 958–965.
3. Andryushina I.N. (2013) The PZT system ( $\text{PbTi}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_3$ ,  $0 \leq x \leq 1.0$ ): The real phase diagram of solid solutions (Room temperature) (Part 2). Ed. I.N. Andryushina, L.A. Reznichenko, L.A. Shilkina et all. *Ceramics International*, vol. 39, No. 2, pp. 1285–1292.
4. Noheda B. (2002) Structure and high-piezoelectricity in lead oxide solid solutions. Ed. B. Noheda. *Current Opinion Solid State Mater. Sci.*, vol. 6, pp. 27–34.

5. Reznichenko L.A. (2008) *Fazovaya  $x$ - $T$  diagramma real'nykh tverdykh rastvorov sistemy  $(1-x)\text{PbZrO}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$  ( $0.37 \leq x \leq 0.57$ )* [Phase  $x$ - $T$  diagram of real solid solutions of the system  $(1-x)\text{PbZrO}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$  ( $0.37 \leq x \leq 0.57$ ). Ed. L.A. Reznichenko, L.A. Shilkina, O.N. Razumovskaya, E.A. Yaroslavtseva, S.I. Dudkina, O.A. Demchenko, Y.I. Yurasov, A.A. Esis, Andryushina I.N.] *FTT* [Solid State Physics], No. 8, vol. 50, pp. 1469–1475.
6. Andryushina I.N. (2013) The PZT system ( $\text{PbTi}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_3$ ,  $0 \leq x \leq 1.0$ ): High temperature  $x$ -ray diffraction studies. Complete  $x$ - $T$  phase diagram of real solid solutions (Part 3). I.N. Andryushina, L.A. Reznichenko, L.A. Shilkina, K.P. Andryushin, S.I. Dudkina. *Ceramics International*, vol. 39, pp. 2889–2901.
7. Reznichenko L.A. (1999) *Rol' margantsa v «uzhestchenii» segnetoelektricheskikh materialov. Pod red. L.A. Reznichenko, O.N. Razumovskaya, S.V. Gavril'yachenko* [The role of manganese in the «depletion» of ferroelectric materials. Ed. L.A. Reznichenko, O.N. Razumovskaya, S.V. Gavril'yachenko] *Sb-k trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Fundamental'nye problemy p'ezoelektricheskogo priborostroeniya» («Pezotekhnika-99»)* [Proceedings of the international scientific and practical conference «Fundamental Problems of Piezoelectric Instrumentation» («Piezotekhnika-99»)], Rostov-on-Don, vol. 1, pp. 98–108.
8. Fesenko E.G. (1983) *Novye p'ezokeramicheskie materialy. E.G. Fesenko, A.Ya. Dantsiger, O.N. Razumovskaya* [New piezoceramic materials. Ed. E.G. Fesenko, A.Y. Danziger, O.N. Razumovskaya] *Izd-vo RGU* [RSU Publishing House], Rostov-on-Don, 156 p.
9. Sakhnenko V.P. (1999) *Energeticheskaya kristallogimiya tverdykh rastvorov soedineniy kislorodno-oktaedricheskogo tipa i modelirovaniye p'ezokeramicheskikh materialov. V.P. Sakhnenko, N.V. Dergunova, L.A. Reznichenko* [Energy crystal chemistry of solid solutions of compounds of oxygen-octahedral type and modeling of piezoceramic materials. Ed. V.P. Sakhnenko, N.V. Dergunova, L.A. Reznichenko] *Izd-vo RGPU* [Publishing House of the Rostov State Pedagogical University], Rostov-on-Don, 322 p.
10. Hedvall J.A., Heuberger J.Z. *Anorg. allg. Chem.*, 1922, vol. 49, p. 122.
11. Danziger A.Y. (2001–2002) *Mnogokomponentnye sistemy segnetoelektricheskikh slozhnykh oksidov: fizika, kristallogimiya, tekhnologiya. Aspekty dizayna p'ezoelektricheskikh materialov. A.Ya. Dantsiger, O.N. Razumovskaya, L.A. Reznichenko i dr.* [Multicomponent systems of ferroelectric complex oxides: physics, crystal chemistry, technology. Aspects of the design of piezoelectric materials. A.Y. Danziger, O.N. Razumovskaya, L.A. Reznichenko, et al.] *Izd-vo RGU* [RSU Publishing House], Rostov-on-Don, vol. 1.2, 800 p.
12. Andryushina I.N. (2013) The PZT system ( $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ ,  $0.0 \leq x \leq 1.0$ ): Specific features of recrystallization sintering and microstructures of solid solutions (Part 1). I.N. Andryushina, L.A. Reznichenko, V.A. Alyo-shin, L.A. Shilkina et al. *Ceramics International*, vol. 39, pp. 753–761.
13. Reznichenko L.A. (1995) *Osobennosti morfotropnogo fazovogo perekhoda v sisteme  $(1-x)\text{NaNbO}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$*  [Peculiarities of the morphotropic phase transition in the  $(1-x)\text{NaNbO}_3$ - $x\text{PbTiO}_3$ . L.A. Reznichenko, A.Y. Danziger, O.N. Razumovskaya and others] *Sb-k trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Fundamental'nye problemy p'ezoelektroniki» («Pezotekhnika-95»)* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Fundamental Problems of Piezoelectronics» («Piezotekhnika-95»)] *Izd-vo MP «Kniga»* [Publishing house «The Book»], Rostov-on-Don, vol. 2, pp. 13–32.
14. Budnikov P.P. (1971) *Reaktsii v smes'yakh tverdykh veshchestv. P.P. Budnikov, A.M. Ginstling* [Reactions in mixtures of solids. Ed. P.P. Budnikov, A.M. Ginstling] *Izd-vo literatury po stroitel'stvu. 3-e ispr. i dopoln. izd.* [Publishing house of literature on construction. 3rd updated and revised edition], Moscow, 488 p.
15. Reznichenko L.A. (1996) *Zhidkaya faza v niobatakh shchelochnykh metallov. Pod. red. L.A. Reznichenko, O.N. Razumovskaya, L.A. Shilkina, V.A. Aleshin* [Liquid phase in niobates of alkali metals. Ed. L.A. Reznichenko, O.N. Razumovskaya, L.A. Shilkina, V.A. Alyoshin] *Sb-k materialov 7-go Mezhdunarodnogo seminar po fizike segnetoelektrikov – poluprovodnikov. Izd-vo MP «Kniga»* [Proceedings of the 7th International Seminar on the Physics of Ferroelectrics – Semiconductors. Publishing house «The Book»], Rostov-on-Don, vol. 6, pp. 149–151.
16. Danziger A.Y. (1995) *Vysokoeffektivnye p'ezokeramicheskie materialy. Optimizatsiya poiska. A.Ya. Dantsiger, O.N. Razumovskaya, L.A. Reznichenko i dr.* [Highly efficient piezoceramic materials. Search optimization. A.Y. Danziger, O.N. Razumovskaya, L.A. Reznichenko et al.] *Izd-vo «Payk»* [«Pike» Publishing House], Rostov-on-Don, 92 p.

## О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ, СТРУКТУРООБРАЗОВАНИИ И ТВЕРДЕНИИ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

**Г.Н. Пшеничный**, доц. Кубанского государственного технологического университета, канд. техн. наук, [pgn46@mail.ru](mailto:pgn46@mail.ru)

*Существующие отечественная трехстадийная схема и западная пятистадийная модель твердения портландцемента и материалов на его основе не отражают в должной мере реальный процесс, подтверждением чего является масса до сих пор не выявленных вопросов и не решенных проблем. Как следствие, сформулированная еще в 60-е годы прошлого столетия тенденция «направленной» технологии бетона «с наперед заданными свойствами» так и осталась благим пожеланием, теоретические производственные основы заменены банальным кубико-прочностным подходом. Анализ работ в области гидратации клинкерных вяжущих веществ и формирования структуры твердения показал важную роль протекающих на границе раздела фаз электроповерхностных явлений. Взаимодействие реагентов следует рассматривать исключительно с позиций переходного «активированного комплекса» (по Г. Эйрингу), что и является целью настоящей работы.*

**Ключевые слова:** портландцемент, гидратация минералов, стадийность процесса, микробетон, поверхностно-активные зоны, надежность бетонов.

## ON THE INTERACTION, STRUCTURE AND HARDENING OF CEMENT SYSTEMS

**G.N. Pshenichny**, Associate Professor, Kuban State Technological University, Doctor of Engineering, [pgn46@mail.ru](mailto:pgn46@mail.ru)

*The existing domestic three-stage scheme and the western five-stage model of hardening Portland cement and materials based on it do not adequately reflect the actual process, as evidenced by the mass of issues that have not yet been identified and unsolved problems. As a consequence, the trend of «directed» concrete technology «with predefined properties», formulated as early as the 1960s, remained a good wish, the theoretical production bases were replaced by a banal cube-strength approach. The analysis of works in the field of hydration of clinker binders and the formation of the hardening structure has shown an important role of the electro-surface phenomena occurring at the interface. The interaction of the reagents should be considered only from the standpoint of the transition «activated complex» (according to G. Eyring), which is the purpose of this work.*

**Keywords:** Portland cement, hydration of minerals, process staging, micro-concrete, surface-active zones, reliability of concretes.

В качестве иллюстрации трех стадий отвердевания цемента в отечественном бетоноведении используется кинетика структурной прочности (рис. 1, А), за рубежом (пятистадийный процесс) — динамика тепловыделения (Б). Принципиальное отличие: в отечественной модели химический процесс (гидролиз силикатов кальция с «выделением извести») осуществляется немедленно после соприкосновения реагентов, в западной — спустя временной (индукционный) интервал ( $S_1 + S_2$ ), завершающийся основным экзотермическим эффектом.

Заметим, западная позиция, касающаяся начала гидратации минералов цемента, более рациональна, учитывая отсутствие на данном временном этапе экзотермии (быстротечное и малоощутимое выделение тепла при смешении компонентов — «мера свободной извести»



[3], что легко проверяется значительно меньшим тепловым эффектом лежалых цементов). К тому же, представленные на рис. 1 кривые имеют далеко не лекальный, а явно выраженный волнообразный вид (рис. 2), полностью согласующийся со «скачкообразным» характером твердения цементных составов [6].

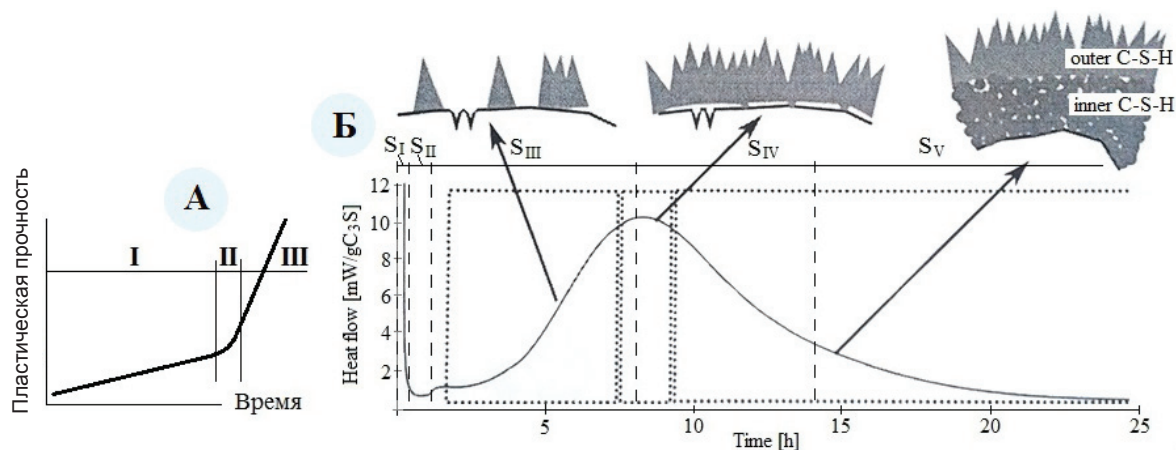


Рис. 1. Нарастание структурной прочности бетонной смеси [1] и взаимосвязь основного пика тепловыделения с ростом C-S-H «игл» [2]

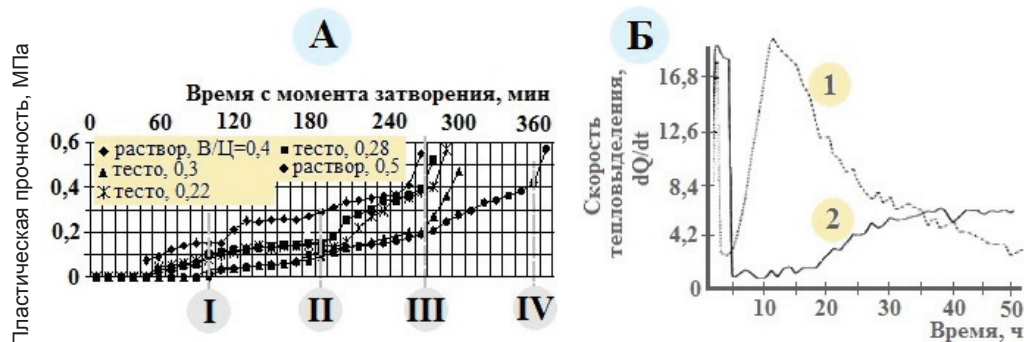


Рис. 2. Кинетика пластической прочности нормально твердеющих цементных составов (А) [4] и скорость тепловыделения цемента воскресенского завода (Б) [5]

1 — с добавкой 5% гипса; 2 — без добавки гипса

До сих пор является дискуссионным путь (сквозьрастворный, топохимический или их симбиоз) превращения пластичной цементной массы в камень. И хотя предпочтение отдано кристаллизационной «теории твердения», тем не менее, она неоднократно подвергается критике и сомнению в адекватном отражении реально протекающего процесса [7, 8 и др.]. В этом отношении отметим исследования, выполненные в составе программы NASA с применением метода квазиупругого рассеивания нейтронов (QENS), позволившие заключить об аморфной структуре C-S-H [9], что позже было подтверждено специалистами Массачусетского технологического института [10]. Таким образом, массово используемые сквозьрастворная схема гидратации цементных минералов и кристаллогидратная морфологическая сущность новообразований не находят экспериментального подтверждения.

Отметим ряд существующих в бетоноведении «белых пятен» и противоречий. Не понятна природа и физическая сущность индукционного периода, причин и механизма гидролиза силикатов кальция, «движущей силы» структурообразования и формирования микробетона, его морфологического устройства, адаптационной способности и т.д. Технологическим совершенством, к примеру, считается полное превращение цементных зерен в гидратированные соединения, что откровенно противоречит эксперименту, указывающему на неизменность их габаритов при любых температурно-влажностных условиях и сроках твердения (более того, объем зерен даже увеличивается за счет выдавливания в поровое пространство поверхностного высокопористого аморфного гидрата). В последние годы интенсивно тиражируются высокопрочные самоуплотняющиеся бетоны, способ получения которых (снижение расхода воды, применение гиперпластификаторов) вызывает справедливое опасение [11]. Научно-техническое прогнозирование заменено кубико-прочностной методологией; высокая прочность считается определяющим параметром, едва ли не синонимом долговечности и надежности бетонов. Образно говоря, сложившаяся теоретическая база отечественного бетоноведения напоминает ком постоянно накручивающихся проблем и нестыковок, что и определяет наметившуюся тенденцию развития строительной отрасли, как малопривлекательный «путь преследования или копирования» [8] не всегда праведных зарубежных аналогов.

Между тем, гидратационная проблема решается достаточно просто при несколько отличном от традиционной трактовки подходе. У всех теоретических воззрений есть общий признак — момент контакта химически активных реагентов. Этот признак является определяющим в процессе, требующим особого внимания. Взаимодействие цемента с водой осуществляется на границе раздела фаз, однако, не за счет вторичных и зависимых (растворительных, гидролизных, хемосорбционных) действий, а путем определяющей роли электростатических взаимодействий, формирования в межфазной зоне переходного активированного комплекса [12].

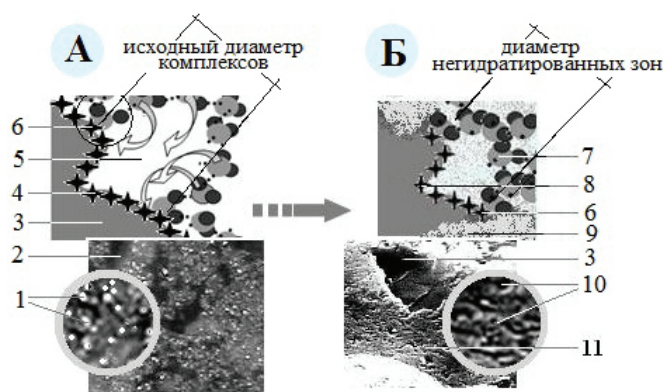
При соприкосновении реагентов происходит «гашение» свободной  $\text{CaO}$  со слабо выраженной (особенно для лежалых цементов) начальной экзотермией. На поверхности цементных зерен мгновенно формируется двойной электрический слой (ДЭС) не плоской (с равномерно размазанным гельмгольцевским слоем зарядов) конфигурации, а в виде локально рассредоточенных пористых (доменных) полимолекулярных водных скоплений (рис. 3, А) диаметром около 0,5 мкм, впервые обнаруженных американскими исследователями в середине прошлого столетия [13, с. 234].

Элементарное образование имеет наиболее рациональный сферический вид, однако, вряд ли напоминающий опрокинутую на минеральную поверхность полусферу; это, скорее, многоопорная шатровая «конструкция». По аналогии с наиболее устойчивыми шестимолекулярными «квантами воды» (по К. Джордану), шестилучевой симметрией снежинок, шестигранной конфигурацией водных скоплений [14, рис. 1] можно заключить о шестиопорном шатровом строении активированных комплексов. Опорными элементами дипольных сводов также не являются мономерные объекты, как показано на схеме (рис. 3, А), однако это — предмет дальнейшего уточнения, не играющий принципиальной роли в пояснении хода процесса.

Таким образом, экспериментально установленный факт — в момент соприкосновения цементных зерен с водой на поверхности твердой фазы, подчиняясь геометрии и гидратационной характеристике активных центров, появляются определенным образом рассредоточенные пространственные полимолекулярные образования. Их метастабильность обусловлена избытком несбалансированных под полимолекулярными сводами зарядов минеральной подложки и динамизмом (тепловым колебательным, вращательным движением) диполей. Электромагнитное воздействие энергетически не насыщенных активных центров твердой фазы вызывает ослабление, эстафетное разрушение водородных связей кластеров,



постепенную концентрацию диполей у адсорбционных центров (показано стрелками на рис. 3, А), накопление на поверхности цементных зерен свободных носителей заряда. Повышающийся  $\xi$ -потенциал пространственного двойного электрического слоя является причиной возбуждения энергетической системы «адсорбат – адсорбент», достигающей критического уровня, разрушающего водородные и химические связи комплекса. Часть ионов кальция из структуры минералов выталкивается в жидкую среду, определяя начало основного экзотермического эффекта; появившиеся высокореакционные продукты распада молекул воды (гидроксоний, модификации гидратов протона) взаимодействуют с кремнекислородными гидролизными остатками твердой фазы. Образовавшийся гидрат в виде локально рассредоточенных аморфных скоплений покрывает поверхность клинкерных частиц. Контракционный эффект, наряду с интенсивным потреблением зернами порции диполей (для формирования очередного активированного комплекса), вызывает появление в межзерновых пустотах «движущей силы» отвердевания – вакуума [15], организующего цементную систему, что фиксируется первым «скачком» структурной прочности спустя  $90 \pm 10$  мин с момента с момента затворения цемента водой.

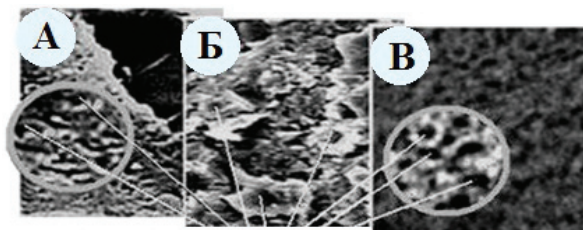


**Рис. 3. Схема и общий вид начального (А) и конечного (Б) состояний взаимодействующей цементной системы**

- 1 – переходные энергетические комплексы; 2 – поверхность клинкерного зерна;  
3 – массив зерна; 4 – активный центр; 5 – дипольный свод; 6 – адсорбционный центр;  
7 – молекулы воды; 8 – остаточный активный центр; 9 – гидратный продукт;  
10 – остаточные негидратированные зоны; 11 – экранная гидратная оболочка

Появление очередного комплекса с соответствующим его поворотом на гидратационный шаг и вышеотмеченной последовательностью процесса приводит к образованию гидратного продукта в районе  $180 \pm 10$  минут. Гидратация цементных минералов и структурообразование цементного камня, таким образом – стадийный процесс, включающий чередование относительно продолжительных подготовительных (индукционных) периодов и быстротечных (взрывообразных) моментов химизма явления. Развивающийся в системе вакуум обеспечивает стяжение цементных зерен до появления вначале малопрочных гидросиликатных контактов с последующим уплотнением и упрочнением контактных зон. По мере химического связывания воды, гидратации активных центров, снижения размеров комплексов и поверхностной энергии зерен, соответственно, повышения энергии водородных связей адсорбированных диполей индукционные интервалы закономерно увеличиваются, превращаясь со временем в часы, сутки, недели. Как логическое завершение процесса – формирование на гидратированной поверхности цементных частиц локально рассредоточенных относительно стабильных

остаточных поверхностно-активных зон, легко обнаруживаемых электронной микроскопией в виде каналов и сферических пор в гидросиликатной массе диаметром 0,3 мкм и менее (рис. 3, Б и 4). Именно наличию этих негидратированных зон со сгущением высокоорганизованных кластеров и их подпиткой диполями окружающей среды обязан продолжительный во времени гидратационный процесс.



Поверхностно-активные зоны

**Рис. 4. Фрагменты поверхности гидратированного цементного зерна трехмесячного (А), 31-летнего (Б) и 105-летнего (В) возрастов**

Представленная стадийно-поверхностная схема твердения портландцемента позволяет понять физическую сущность многих аспектов этого процесса:

1. Энергетика процесса. Взаимодействие цементных минералов с водой затворения осуществляется путем аккумуляции собственной энергии за счет формирования на границе раздела фаз метастабильного переходного активированного комплекса с его развитием, достижением критического энергетического уровня и распадом. Взрывообразное разрушение Са—О-связей в структуре силикатов кальция, водородных и химических связей адсорбированных кластеров, появление активных частиц ( $\text{Ca}_2^+$ ,  $(\text{SiO}_4)_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$  и др.), их быстрое взаимодействие и является причиной появления на поверхности цементных зерен клеевого аморфного гидратного продукта.

2. Стадийность гидратационного процесса. Гидратационный акт завершается быстроепотреблением минералами порции диполей и формированием очередного активированного комплекса с его последующим развитием по отмеченной схеме. Этот процесс на начальном этапе (до максимума тепловыделения) при обычной ( $22 \pm 2^\circ\text{C}$ ) температуре твердения протекает периодически (стадийно) с близким ( $90 \pm 10$ -минутным) временным интервалом по причине малой изменяемости размера активированных комплексов и значительного запаса активной воды. По мере же химического связывания диполей, гидратации активных центров и снижения поверхностной энергии цементных частиц индукционные стадии закономерно увеличиваются. Периодический выброс из структуры цементных минералов ионов кальция, такой же характер потребления воды, развития вакуума и самоорганизации системы прямо подтверждаются «волнообразным» характером изменения химического состава поровой жидкости [16, 17], электрического сопротивления [18], скорости тепловыделения [5], влажностного состояния системы [19], восходящей ломаной кривой структурной прочности [17].

3. Скачкообразность отвердевания. Стадийное химическое связывание безводными цементными минералами воды с ее одновременным потреблением из порового пространства сопровождается развитием в межзерновых пустотах вакуума — «движущей силы» формирования и упрочнения будущего цементного камня и бетонов, приводящей на начальном этапе к скачкообразности отвердевания, регистрируемой, к примеру, характерными переломами пластограмм (рис. 2, А). Следовательно, данная особенность, отмечавшаяся В.А. Кин-

дом еще в 30-х годах прошлого столетия [6] — не аномалия неких «некондиционных цементов» (как нередко считается), а закономерность, свойственная всем клинкерным вяжущим веществам и материалам на их основе, твердеющим при любых температурно-влажностных условиях.

4. Сущность индукционного периода. По мнению [2], данный период обязан «увлажненной поверхности» цементных частиц за счет воздействия влаги окружающей среды и появления гидратного слоя толщиной 10100 нм, замедляющего твердение. Однако данная точка зрения противоречит эксперименту — индукционный период имеет место и у совершенно свежего (немедленно после помола) портландцемента. К тому же, при умеренной степени лежалости индукционный период не повышается, а сокращается, поскольку определенная стадия указанного в пп. 1, 2 процесса (рассредоточенная адсорбция диполей, формирование полимолекулярных структур, их развитие) осуществляется в процессе массообменных явлений при хранении цемента. Добавлением воды мы просто интенсифицируем давно начатый гидратационный процесс. Этот результат легко проверяется термопластометрическим методом [20] — например, первый «скачек» структурной прочности на свежем цементе наблюдается через  $90 \pm 10$  мин, после шестимесячного хранения в пластиковой (периодически открываемой для отбора навесок) емкости — через  $60 \pm 10$  мин.

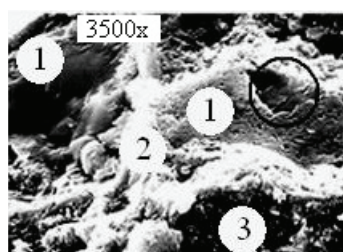
5. Индукционный период, а один ли он? Обычно имеется в виду начальный, предшествующий внезапной интенсификации процесса твердения временной интервал. Как отмечалось, в данном полуторачасовом периоде идет развитие активированного энергетического комплекса, достижение критического уровня (результат повышения  $\xi$ -потенциала двойного слоя частиц часто обнаруживают начальным расширением цементно-водной системы) и распад. Внешне этот период мало в чем проявляется (невнятное повышение структурной прочности, отсутствие теплового эффекта), его итог — взаимодействие элементов, выброс ионов кальция, начало экзотермии, потребление порции диполей, формирование очередной переходной энергетической композиции, самоорганизация системы. При этом индукционный период далеко не один. Вся стадия существования бетона как строительного материала представляет собой чередование индукционных временных интервалов и моментов химизма процесса с непременным деструктивным сопровождением. Отсутствие массовых аварийных ситуаций и катастроф не опровержение сказанного, а свидетельство асинхронности деструктивных явлений в объеме бетона.

6. Влияние водоцементного фактора и заполнителей. Взаимодействие портландцемента с водой протекает в плотной области ДЭС (обведено на рис. 3, А), в связи с чем, водоцементный фактор и присутствие заполнителя (песка, щебня, дисперсных минеральных добавок и других химически инертных продуктов) не оказывает влияния на качественный ход процесса. Характерные переломные точки кинетических кривых многих (реологических, термохимических, электрофизических) свойств наблюдаются в одно время в тесте и смесях, т.е. являются постоянной характеристикой конкретного вяжущего вещества. Время наступления переломных точек может служить надежным ориентиром для количественной и качественной оценки действия на твердение бетонов различных факторов, в том числе, химических добавок.

7. О схватывании портландцемента. Дискредитирующими моментами традиционного метода оценки интенсивности твердения цемента по «срокам схватывания» являются: «унификация» (использование для иных составов, кроме «нормальной густоты» цементного теста), а также преднамеренное смешение количественной и качественной сторон твердения. Конкретным значениям структурной прочности условно (!) присваиваются такие этапные признаки, как «начало» и «конец» процесса. Это привело к неразберихе и путанице в бетоноведении по причине наделения ряду факторов чуждых для них функций (например, противоморозной добавке поташу по ГОСТ 24211 — ускоряющие, несмотря на ее явно замедляющее действие). Следовательно, существующий ГОСТ 310.3 требует корректировки в час-

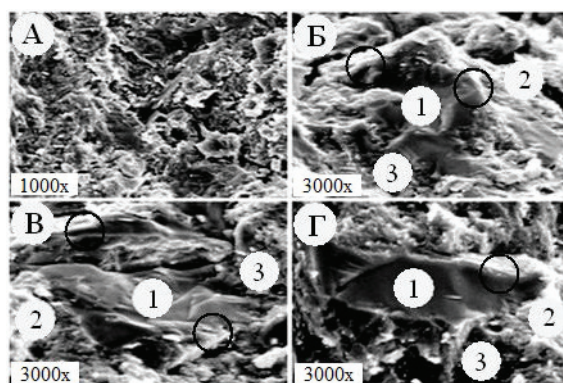
ти использования объективного метода диагностики, основанного не на условных показателях, а на кинетике свойств, непосредственно отражающих структурообразующий процесс [20, 21].

8. Поверхностность процесса. Гидратационный процесс сопровождается «инконгруэнтным» [17] растворением цементных минералов с преимущественным переходом в жидкую среду ионов кальция и неизменным месторасположением кремнекислородных гидролизных остатков. Появляющийся гидратный продукт, в связи с этим, характеризуется огромным сцеплением с массивом цементного зерна и экранирующими свойствами, делающими невероятным глубинное распространение гидратационного фронта. Данный аспект подтверждается отсутствием заметных «габаритных метаморфоз» цементных зерен после месяцев (рис. 5), многих десятилетий (рис. 6, 7) твердения, многолетнего водного выдерживания (рис. 8), а также полной потери гидравлической активности в результате семикратного затворения, пропаривания и помола продукта (рис. 9).



**Рис. 5. Строение трехмесячного цементного камня**

1 — цементные зерна; 2 — гидратный продукт;  
3 — межзерновая пустота



**Рис. 6. Строение 31-летнего цементного камня**

1 — цементные зерна; 2 — гидратный продукт;  
3 — межзерновая пустота

9. Толщина гидратированного слоя. Как следствие предыдущей позиции - гидратированный продукт на всем протяжении отвердевания и существования цементного композита как строительного материала характеризуется практически постоянной и мизерной толщиной, составляющей 1, 01, 5 мкм, что полностью соответствует полученным в последнее время экспериментальным данным [22]. Этот аспект наглядно иллюстрируется обведенными на



рис. 5 и 6 структурными элементами и выделенным сколом цементного камня водного твердения (рис. 8), дающего возможность реальной количественной оценки данного параметра. Учитывая высокую пористость гидратированного слоя можно заключить о проникновении гидратационного фронта в плотный клинкерный массив на глубину, составляющую считанные доли микрона. Отсюда тенденция взаимосвязи предельного использования потенциальных возможностей цемента с его полным растворением лишена оснований.

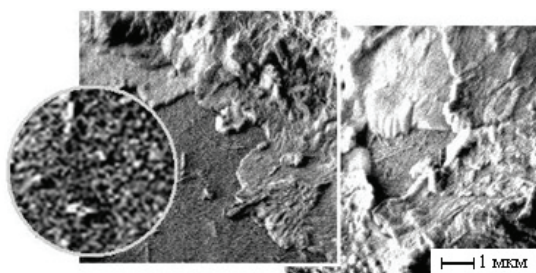


Рис. 7. Общий вид цементного зерна 105-летнего возраста

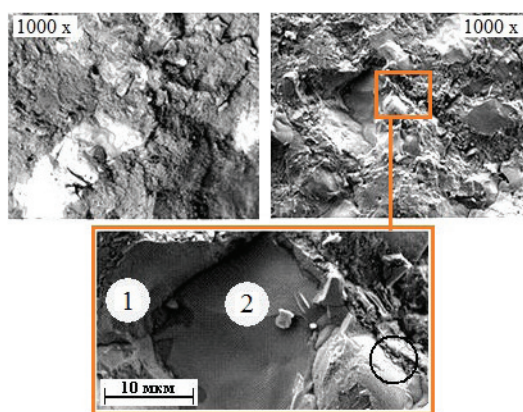


Рис. 8. Строение цементного камня 38-месячного водного твердения

1 — фрагмент гидратной оболочки;  
2 — массив зерна

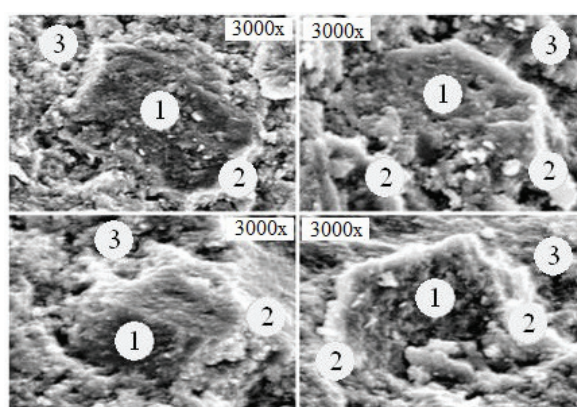


Рис. 9. Строение цементного камня на основе полностью гидратированных цементных зерен

1 — цементные зерна; 2 — гидратный продукт;  
3 — межзерновая пустота

10. Степень гидратации цемента. Кажущееся противоречие между постоянством толщины гидратированного слоя и повышением во времени степени гидратации вяжущего достаточно просто решается с учетом «конструктивного устройства», динамики развития переходных энергетических комплексов и структурных особенностей остаточных поверхностно-активных зон (рис. 3, Б и 4). Непрекращающаяся энергетическая активность последних, пополнение запаса молекулярно-дисперсной влаги окружающей среды и массообменные явления определяют неиссякаемый во времени гидратационный процесс, приводящий к последовательной гидратации остаточных активных центров на протяжении неопределенно продолжительного времени. Во всяком случае, негидратированные зоны (диаметром 0,1 мкм и менее) отчетливо просматриваются на 105-летнем цементном зерне (увеличено на рис. 7), что указывает на вполне реальную его гидратационную активность.



11. О микробетоне. Целесообразно уточнить отдельные положения известного термина В.Н. Юнга — «микробетон» [23]. Бесспорно, цементный камень — крайне неоднородный продукт, содержащий наряду с другими объектами большое количество не полностью разложившихся цементных зерен. Однако эти зерна не то что не «перестали играть активную роль в твердении», а являются определяющим фактором — «крупным заполнителем», носителем прочности и прочих свойств микробетона. Оптимизация свойств последнего (как и для обычного бетона) обеспечивается фракционированием «заполнителя» — рациональным дисперсным составом цементного порошка [24]. Эффективно повышение плотности микробетона структурно совместимым минеральным наполнителем. При этом размер частиц наполнителя должен быть сопоставим с размерами межзерновых пустот (ориентировочная удельная поверхность — 510 тыс. см<sup>2</sup>/г); больший и меньший размер минеральной добавки ухудшает результат (вследствие раздвижки цементных зерен в первом случае и появления в системе дополнительных проблемных контактных участков — во втором).

12. Морфология гидросиликата кальция. Обычно пространственное строение С-S-H рассматривают в виде лепестковых, чешуйчатых и подобных структур, либо результатом свертывания тонких тоберморитовых пластинок с формированием каналов для подвода воды к внутренним сферам цементных зерен и выноса растворенных продуктов во внешнюю среду [25]. И хотя внешне данная картина соответствует реальности (рис. 4, Б и 6, А) — лепестковые элементы окаймляют цилиндрические каналы, вызывает определенное недоверие кристаллизационный путь их появления. На наш взгляд, в результате взаимодействия реагентов происходит выдавливание в поровое пространство поверхностно образуемого и увеличивающегося в объеме гидросиликата сквозь зазоры своеобразных прочносвязанных «дипольных фильер». Подобный механизм и определяет формирование волокнисто-полых трубчатых гидросиликатных структур (рис. 10), одновременно являющимися клеевым продуктом микробетона. Кстати, данная иллюстрация позволяет оценить толщину гидратной оболочки, находящуюся в отмеченных в п. 9 пределах.

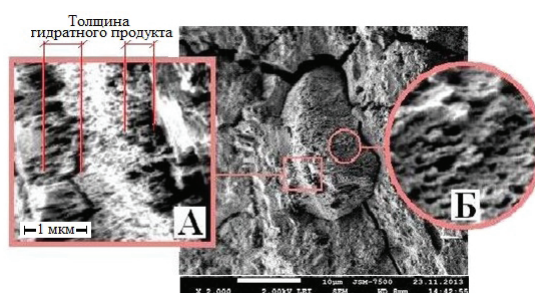
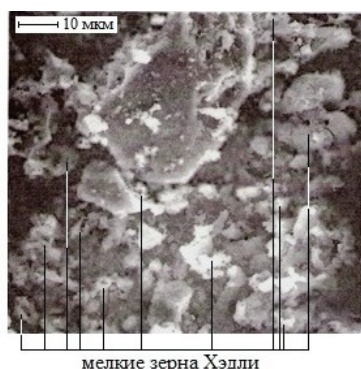


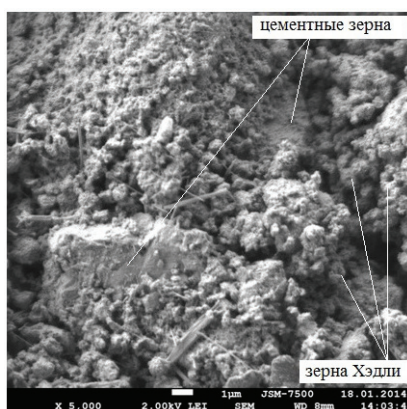
Рис. 10. Общий вид и фрагменты поверхности цементного зерна водного твердения

13. Природа «зерен Хэдли». В 70-х годах прошлого столетия при изучении структуры обычного и гидратированного цемента Дэвид Хэдли обнаружил и описал дисперсные (15 мкм), характеризующиеся самоподобием, торообразные формирования [26] (рис. 11). И хотя природа этих дисперсий была не ясна, автор предположил об их практической значимости, как возможного средства повышения плотности цементного камня. В более поздних работах [27, 28] исследования были продолжены, но без видимого успеха, хотя стало понятно, что изучаемые структуры имеют малое отношение к таким понятиям, как межзерновая пустота, капиллярные поры, диффузионные потоки и др., скорее всего, «зерна Хэдли связаны с механизмом гидратации» [29].



**Рис. 11. Электронная микроскопия дисперсного состава цемента [26]**

Рассматриваемые дисперсии, действительно, являются следствием гидратации портланд-цемента, а именно, результатом формирования волокнисто-полых трубчатых гидросиликатных структур (рис. 10). Если обеспечить предельно полный гидратационный процесс с исключением структурообразования (например, суточным кипячением перемешиваемого цементно-водного состава) с последующей сушкой и помолом продукта, то, наряду с клинкерными зернами, получим огромное количество зерен Хэдли (рис. 12), являющихся абсолютно совместимым с цементным камнем микронаполнителем.



**Рис. 12. Дисперсный состав гидратированного цемента**

### Пилообразность твердения

Гидратационное твердение портландцемента и материалов на его основе (растворов, бетонов) — одновременное и взаимосвязанное протекание позитивных (структурообразующих) и негативных (деструктивных) явлений. Развивающийся на начальном (пластичном) этапе в системе вакуум является организующим частицы, формирующим и упрочняющим контактные зоны микробетона фактором. Появление же с увеличением объема твердой фазы гидрата на поздних этапах, в условиях сложившейся структуры композита — причина внутренних напряжений, ослабления структурных связей и сброса прочности (рис. 13). При благоприятных обстоятельствах новые порции клевого гидросиликата «залечивают» микро-

дефекты, повышают плотность и прочность камня, определяя тем самым «пилообразный» [30] характер твердения. В противном случае (например, при критической нагрузке) возможны необратимые процессы, лавинное трещинообразование и разрушение бетона «без видимых на то причин».

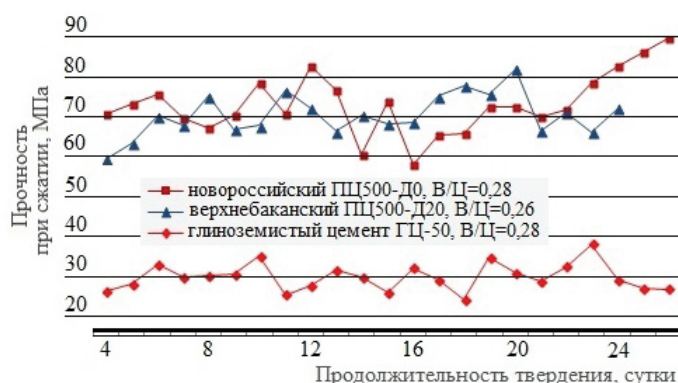


Рис. 13. Кинетика прочности цементных составов

15. Прочность бетона. Прочность цементных бетонов — динамичное, постоянно меняющееся свойство, конкретный уровень которой периодически колеблется достаточно продолжительное время (рис. 13). В этой связи, использование показателя прочности в качестве критерия осуществления тех или иных воздействий (например, нагружения колонн монолитных зданий путем удаления поддерживающих опор перекрытия) должно осуществляться с определенной осторожностью. Нагружать конструкции следует в периоды роста или пиковых значений прочности, и весьма нежелательные результаты можно получить при осуществлении этой операции в деструктивных временных интервалах. Следовательно, под непрерывным контролем несущих монолитных объектов должно быть не только величина прочности, но и динамика ее развития.

16. Контактная зона бетона и железобетона. Эта зона является наиболее слабой, уязвимой для агрессивных сред, подверженной первоочередному разрушению. Усадочная вяжущая система не обжимает, а отслаивается от инертного объекта (крупного и мелкого заполнителя, арматуры, закладных деталей), что становится понятным, учитывая смещение контактирующих с инертной поверхностью цементных зерен в межзерновую пустоту, т.е. от поверхности химически инертного объекта в область максимального развития вакуума. Отсюда очевидна необходимость силового воздействия (вибрирования, прессования, трамбования) на твердеющий бетон в рациональные сроки — моменты стяжения системы, легко определяемые, например, пластометрическим методом.

17. Живучесть и адаптационная способность бетонов. Эти свойства бетонов обязаны выше отмеченным остаточным поверхностно-активным зонам клинкерных частиц. Естественное развитие этих зон приводит к периодической поздней гидратации цемента с неизбежной деструкцией. Т.е. бетону, как и живому организму, свойственна своеобразная температурная и структурная пульсация (отсутствие массовых аварийных ситуаций не опровержение сказанного, а подтверждение асинхронности деструктивного явления в объеме бетона). Опасны внешние (силовые, вибрационные, температурные, электромагнитные и др.) воздействия, активизирующие адсорбционно-связанную в микробетоне воду, способные синхронизировать гидратационный и деструктивный процессы на цементных зернах в массиве железобетонной конструкции со сложно прогнозируемыми последствиями.

18. Надежность цементных бетонов. Требуемое значение показателя может быть достигнуто путем использования комплекса технологических приемов, благоприятствующих отвердеванию, способствующих полноте и завершенности гидратационного процесса, структурной стабильности микробетона. Это: достаточное количество воды затворения, ее активация (термохимическим, электрофизическим, акустическим методами), использование структурно-совместимого заполнителя и высокодисперсного минерального наполнителя, ограничение применения синтезированных, полимерных пластификаторов и противоморозных добавок, виброактивационное сопровождение (оптимальное время укладки бетонных смесей, повторное и циклическое вибрирование), влажностные условия твердения, предохранение бетона от пересушивания и отмеченных в п. 17 внешних воздействий.

Заключение. Основной недостаток существующих схем твердения портландцемента — недостаточное внимание электроповерхностной составляющей, неизбежной при контакте неустойчивой («замороженной») клинкерной фазы и высокоорганизованной жидкой среды. Исходный гидратационный акт — формирование на границе раздела гетерогенной цементной системы метастабильного переходного активированного комплекса, развитие и распад которого определяет взаимодействие реагентов, появление аморфного сфероподобного продукта. Процесс протекает стадийно (волнообразно), что подтверждается многочисленными экспериментальными результатами по изучению кинетики различных сопровождающих гидратацию цемента свойств и явлений.

Элементарный активированный комплекс представляет собой адсорбированную на клинкерной поверхности шатровую (по всей вероятности шестиопорную) дипольную композицию, метастабильность которой обусловлена несбалансированными активными центрами под дипольными сводами и динамизмом (непрерывным тепловым движением) молекул воды. Развитие комплекса идет по пути последовательного накопления в адсорбционных зонах диполей (свободных носителей заряда). Достижение критического  $\xi$ -потенциала полимолекулярного двойного слоя приводит к распаду комплекса, появлению активных частиц и химизму явления.

«Движущей силой» самоорганизации клинкерных частиц и формирования структуры твердения является развивающийся в межзерновых пустотах вакуум, вследствие периодического (стадийного) быстротечного потребления цементными минералами порций молекул воды. Данный аспект является причиной «скачкообразности» структурообразующего процесса, которая со временем преобразуется в свою позднюю разновидность — пилообразность роста прочности, что также находит широкое экспериментальное подтверждение и требует неопременного учета в теоретическом плане и строительной практике.

Взаимодействие цементных минералов с водой затворения имеет исключительно поверхностный характер, сопровождающийся стадийным накоплением на зернах вяжущего клеевого продукта — аморфного гидросиликата кальция. Процесс протекает путем последовательной гидратации подшатровых активных центров (связей ионов кальция), что и определяет постоянство толщины гидратной оболочки («гидратного обода» по терминологии западных исследователей), составляющей 1,01,5 мкм. Следовательно, представление глубинного распространения гидратационного фронта, растворения цементных зерен и формирование нежелательных «ядер» лишено оснований.

Представленный стадийно-поверхностный гидратационный механизм дает ответ на многие до сих пор проблемные моменты, в том числе, природу волокнисто-трубчатых гидросиликатных структур, загадочных мелких зерен Д. Хэдли, остаточных поверхностно-активных зон в затвердевшем цементном композите. Последние являются объектами, как естественной поздней гидратации цемента, так и химизмом, спровоцированным внешними активационными воздействиями (силовыми, вибрационными, температурными и др.). Этим обстоятельством и поясняется формальная живучесть и адаптационная способность цементных бетонов.



Ухудшение контактной (переходной) зоны бетонов — закономерный и неизбежный процесс, обусловленный самой сутью отвердевания цементных систем: стяжением поверхностно гидратирующихся клинкерных частиц в зону максимального развития вакуума (межзерновую пустоту) и отслоением от химически инертных элементов (зерен песка, щебня, арматуры). Отсюда очевидны предупредительные технологические приемы: применение высокодисперсных минеральных наполнителей, структурно-совместимых с цементным камнем заполнителей, использование в оптимальные сроки силовых воздействий (прессования, трамбования, вибрирования).

Учитывая изложенное, основное внимание должно уделяться не только прочности (которая должна быть всего лишь достаточной и не более того), а эксплуатационной надежности цементных бетонов, сведению к минимуму вероятности поздней гидратации цемента с неизбежным сбросом прочности. Данное условие может быть обеспечено созданием благоприятных условий для предельно полной гидратации цементных минералов, структурообразующего процесса.

*Работа выполнена в ФБГОУ ВПО КубГТУ в составе руководимых автором НИР: номер государственной регистрации в ЦИТиС: 1200962639, 2007-2009 гг., номер гос. рег.: 1200962636, 2009-2010 гг.; 1201170376, 2011-2011 гг., номер гос. рег.: 1201274283, 2012-2014 гг.*

### Список литературы

1. Состав, структура и свойства цементных бетонов / Г.И. Горчаков [и др.]; под ред. Г.И. Горчакова. М.: Стройиздат, 1976. 144 с.
2. Scrivener K.L., Juilland P., Monteiro P.J.M.. Advances in understanding hydration of Portland cement / Cement and Concrete Research. 2015, vol. 78 (A), pp. 38–56.
3. Эйтель В. Физическая химия силикатов. М.: Изд. Иностранной литературы, 1962. 1056 с.
4. Пшеничный Г.Н. Основы технологии активированных бетонов: учеб. пособие / Кубан. гос. техн. ун-т. Краснодар: Изд. ФГБОУ ВПО «КубГТУ», 2014. 251 с.
5. Шейкин А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня. М.: Стройиздат, 1974. 191 с.
6. Кинд В.А. Химическая характеристика портландцемента. Л-М.: Госстройиздат, 1932, с. 3–4.
7. Гладких Ю.П., Завражина В.И. О конденсационной природе твердения неорганических вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, № 10, 2005, с. 59–61.
8. Ушеров-Маршак А.В. Об уровнях развития бетоноведения и технологии бетона // Материалы международного конгресса Наука и инновации в строительстве SIB-2008, т. 1, кн. 2. Воронеж: ВГАСУ, 2008, с. 569–573.
9. Bordallo H.N., Desmedt A., Herwig K.W., Oldridge L. Quasi-elastic neutron scattering study of constrained water in hydrated cement pastes / NASA Astrophysics Data System (ADS), 2003-03-01. Available at: <http://www.science.gov/topicpages/h/hydrating+cement+pastes.html>.
10. Ученым удалось определить структуру застывшего цемента // Технологии бетонов, 2009, № 11–12, с. 5.
11. Бабков В.В., Полак А.Ф., Комохов П.Г. Аспекты долговечности цементного камня // Цемент, 1988, № 3, с. 14–16.
12. Eyring H.J., Lin S.H., Lin S.M.. Basic chemical kinetics. New York: John Wiley Sons Inc, 1980, 504 p.
13. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона. М.: Госстройиздат, 1961. 645 с.
14. Шпынова Л.Г., Синенькая В.И., Чих В.И., Никонец И.И. Формирование микроструктуры камня  $\beta$ -C<sub>2</sub>S и C<sub>3</sub>S // Шестой международный конгресс по химии цемента, т. II, кн. 1. М.: Стройиздат, 1976. С. 277–281.
15. Скрамтаев Б.Г., Панфилова Л.И. Исследование влияния вакуума в твердеющих цементах // Труды НИИЦемент. М.: Промстройиздат, 1949, вып. 2.
16. Сиверцев Г.Н. Некоторые экспериментальные предпосылки для построения единой теории твердения вяжущих на коллоидно-химической основе // Труды совещания по химии цемента. М.: Госстройиздат, 1956. С. 201–220.



17. К вопросу о гидратации и твердении цемента // Доклады международной конференции по проблемам ускорения твердения бетона при изготовлении сборных железобетонных конструкций / Ю.С. Малинин [и др.]. М.: Стройиздат, 1968. С. 89–90.
18. Ахвердов И.Н., Маргулис Л.Н. Неразрушающий контроль качества бетона по электропроводности. Минск: Наука и техника, 1975. С. 66–126.
19. Цимерманис Л.Б., Генкин А.Р. Исследование процессов твердения цементного камня контактным методом // Труды Уральского НИИПИСМ. Челябинск, 1969. С. 138–147.
20. Пшеничный Г.Н., Куликова А.А. О диагностике портландцементов, или сколько же можно сидеть на игле Вика? // Технологии бетонов. 2013. № 3, С. 27–29.
21. Ушеров-Маршак А.В. Термокинетика как направление физико-химического анализа в бетоноведении // Технологии бетонов. 2010. № 11–12. С. 64–66.
22. Klaus S.P., Neubauer J., Goetz-Neunhoeffler F.. How to increase the hydration degree of CA. The influence of CA particle fineness / Cement and Concrete Research. 2015, vol. 67, p. 11–20.
23. Юнг В.Н. Основы технологии вяжущих веществ. М.: Промстройиздат, 1951. 548 с.
24. Сычев М.М. Твердение вяжущих веществ. Л.: Ленинградское отд. Стройиздат, 1974. 80 с.
25. Шмицько Е.И., Крылова А.В., Шаталова В.В. Химия цемента и вяжущих веществ: учеб. пособие. Воронеж: Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т, 2005. 164 с.
26. Hadley D.W. The nature of the paste-aggregate interface / Ph D. Thesis, Purdue University, 1972, 208 p.
27. Head M.K., Wong H.S., Buenfeld N.R. Characterisation of «Hadley» grains by confocal microscopy / Cement and Concrete Research. 2006. vol. 36 (8), pp. 1483–1489.
28. Kjellsen K.O., Lagerblad B.. Microstructure of tricalcium silicate and Portland cement at middle periods of hidration-development of Hadley grains / Cement and Concrete Research. 2007. vol. 37 (1), pp. 13–20.
29. Diamond S.. Aspects of concrete porosity revisited / Cement and Concrete Research. 1999. vol. 29 (8). p. 1181–1188.
30. Малинина Л.А. Тепловлажностная обработка тяжелого бетона. М.: Стройиздат, 1977. 160 с.

## References

1. Gorchakov G.I., et al. *Sostav, struktura i svoystva tsementnykh betonov. Pod red. G.I. Gorchakova* [Composition, structure and properties of cement concretes. Ed. G.I. Gorchakov] *Stroyizdat* [Stroiizdat], Moscow, 1976. 144 p.
2. Scrivener K.L., Juilland P., Monteiro P.J.M. (2015) Advances in understanding hydration of Portland cement. *Cement and Concrete Research*, vol. 78 (A), pp. 38–56.
3. Eitel V. (1962) *Fizicheskaya khimiya silikatov* [Physical chemistry of silicates] *Izd. Inostrannoy literatury* [Foreign Literature Publishing House]. Moscow, 1056 p.
4. Pshenichny G.N. (2014) *Osnovy tekhnologii aktivirovannykh betonov: ucheb. posobie* [Fundamentals of Activated Concrete Technology. Textbook] *Kuban. gos. tekhnol. un-t. Izd. FGBOU VPO «KubGTU»* [Allowance. Kuban State Technol. Un-ty. Publishing House of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «KubSTU»], Krasnodar, 251 p.
5. Sheikin A.E. (1974) *Struktura, prochnost' i treshchinostoykost' tsementnogo kamnya* [Structure, strength and crack resistance of cement stone] *Stroyizdat* [Stroyizdat], Moscow, 191 p.
6. Kind V.A. (1932) *Khimicheskaya kharakteristika portlandtsementa* [Chemical characterization of Portland cement] *Gosstroyizdat* [Gosstroyizdat], Leningrad–Moscow, pp. 3–4.
7. Gladkih Y.P., Zavrazhina V.I. (2005) *O kondensatsionnoy prirode tverdeniya neorganicheskikh vyazhushchikh* [On the condensation nature of hardening of inorganic binders] *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova* [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov], No. 10, pp. 59–61.
8. Usherov-Marshak A.V. (2008) *Ob urovnyakh razvitiya betonovedeniya i tekhnologii betona. Materialy mezhdunarodnogo kongressa Nauka i innovatsii v stroitel'stve SIB-2008* [On the levels of development of concrete and concrete technology. Materials of the International Congress Science and Innovations in Construction SIB-2008] *VGASU* [Voronezh State Technical University], Voronezh, vol. 1, book 2, pp. 569–573.
9. Bordallo H.N., Desmedt A., Herwig K.W., Oldridge L. (2003) Quasi-elastic neutron scattering study of constrained water in hydrated cement pastes. NASA Astrophysics Data System (ADS), 2003-03-01. Available at: <http://www.science.gov/topicpages/h/hydrating+cement+pastes.html>.

10. *Uchenym udalos' opredelit' strukturu zastyvshogo tsementa* [Scientists managed to determine the structure of frozen cement] *Tekhnologii betonov* [Technologies of Concrete], 2009, No. 11–12, p. 5.
11. Babkov V.V., Polak A.F., Komokhov P.G. (1988) *Aspekty dolgovechnosti tsementnogo kamnya* [Aspects of the durability of cement stone] *Tsement* [Cement], No. 3, pp. 14–16.
12. Eyring H.J., Lin S.H., Lin S.M. (1980) Basic chemical kinetics. New York: John Wiley Sons Inc, 504 p.
13. Lee F.M. (1961) *Khimiya tsementa i betona* [Chemistry of cement and concrete] *Gosstroyizdat* [Gosstroyizdat] Moscow, 645 p.
14. Shpynova L.G., Sinenkaya V.I., Chih V.I., Nikonets I.I. (1976) *Formirovanie mikrostruktury kamnya  $\beta$ -C<sub>2</sub>S i C<sub>3</sub>S. Shestoy mezhdunarodnyy kongress po khimii tsementa, t. II, kn. 1.* [Formation of microstructure of  $\beta$ -C<sub>2</sub>S and C<sub>3</sub>S stone. Sixth International Congress on Cement Chemistry] *Stroyizdat* [Stroyizdat], Moscow, Vol. II, book. 1, pp. 277–281.
15. Skramtaev B.G., Panfilova L.I. (1949) *Issledovanie vliyaniya vakuuma v tverdeyushchikh tsementakh* [Investigation of the influence of vacuum in hardening cements] *Trudy NIITsementa* [Works of JSC NIICement] *Promstroyizdat* [Promstroyizdat], Moscow, vol. 2.
16. Sivertsev G.N. (1956) *Nekotorye eksperimental'nye predposylki dlya postroeniya edinoi teorii tverdeniya vyazhushchikh na kolloidno-khimicheskoy osnove* [Some experimental prerequisites for constructing a unified theory of hardening astringents on colloidal-chemical basis] *Trudy soveshchaniya po khimii tsementa* [Proceedings of the meeting on chemistry of cement] *Gosstroyizdat* [Gosstroyizdat], Moscow, pp. 201–220.
17. Malinin Y.S., et al. (1968) *K voprosu o gidratatsii i tverdenii tsementa. Doklady mezhdunarodnoy konferentsii po problemam uskoreniya tverdeniya betona pri izgotovlenii sbornykh zhelezobetonnykh konstruktсий* [On the issue of hydration and hardening of cement. Reports of the international conference on the problems of accelerating the hardening of concrete in the manufacture of prefabricated reinforced concrete structures] *Stroyizdat* [Stroyizdat], Moscow, pp. 89–90.
18. Akhverdov I.N., Margulis L.N. (1975) *Nerazrushayushchiy kontrol' kachestva betona po elektroprovodnosti* [Nondestructive quality control of concrete by conductivity] *Nauka i tekhnika* [Science and Technology], Minsk, pp. 66–126.
19. Cimermanis L.B., Genkin A.R. (1969) *Issledovanie protsessov tverdeniya tsementnogo kamnya kontakt-nym metodom* [Investigation of processes of hardening of cement stone by a contact method] *Trudy Ural'skogo NIIPISM* [Works of the Ural NIIPISM]. Chelyabinsk, pp. 138–147.
20. Pshenichnyi G.N., Kulikova A.A. (2013) *O diagnostike portlandtsementov, ili skol'ko zhe mozžno sidet' na igle Vika?* [On the diagnosis of Portland cement, or don't you have enough of using Vicat's needle?] *Tekhnologii betonov* [Technologies of concrete]. No. 3, pp. 27–29.
21. Usherov-Marshak A.V. (2010) *Termokinetika kak napravlenie fiziko-khimicheskogo analiza v betonovedenii* [Thermokinetics as a Direction of Physicochemical Analysis in Concrete Engineering] *Tekhnologii betonov* [Concrete Technologies], No. 11–12, pp. 64–66.
22. Klaus S.P., Neubauer J., Goetz-Neunhoeffner F. (2015) How to increase the hydration degree of CA. The influence of CA particle fineness. Cement and Concrete Research, vol. 67, p. 11–20.
23. Jung V.N. (1951) *Osnovy tekhnologii vyazhushchikh veshchestv* [Bases of technology of binding substances] *Promstroyizdat* [Promstroizdat], Moscow, 548 p.
24. Sychev M.M. (1974) *Tverdenie vyazhushchikh veshchestv* [Hardening of binders] *Leningradskoe otd. Stroyizdat* [Leningrad Branch. Stroiizdat], Leningrad, 80 p.
25. Shmitko E.I., Krylova A.V., Shatalova V.V. (2005) *Khimiya tsementa i vyazhushchikh veshchestv: ucheb. posobie* [Chemistry of cement and binders: Training manual] *Voronezh. gos. arkh.-stroit. un-t.* [The Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering], Voronezh, 164 p.
26. Hadley D.W. (1972) The nature of the paste-aggregate interface. Ph D. Thesis, Purdue University, 208 p.
27. Head M.K., Wong H.S., Buenfeld N.R. (2006) Characterisation of «Hadley» grains by confocal microscopy. Cement and Concrete Research, vol. 36 (8), pp. 1483–1489.
28. Kjellsen K.O., Lagerblad B. (2007) Microstructure of tricalcium silicate and Portland cement at middle periods of hydration-development of Hadley grains. Cement and Concrete Research. vol. 37 (1), pp. 13–20.
29. Diamond S. (1999) Aspects of concrete porosity revisited. Cement and Concrete Research. vol. 29(8). p. 1181–1188.
30. Malinina L.A. (1977). *Teplovlazhnostnaya obrabotka tyazhelogo betona* [Thermal treatment of heavy concrete] *Stroyizdat* [Stroyizdat], Moscow, 160 p.

## СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫХ ПОРОШКОВ

**А.В. Лясникова**, проф. каф. Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина, д-р техн. наук, [kafbma2011@yandex.ru](mailto:kafbma2011@yandex.ru)

**И.П. Гришина**, доц. каф. Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина, канд. техн. наук, [kafbma2011@yandex.ru](mailto:kafbma2011@yandex.ru)

**О.А. Дударева**, доц. каф. Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина, [kafbma2011@yandex.ru](mailto:kafbma2011@yandex.ru)

**О.А. Маркелова**, ассист. каф. Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина, [markelovaoa@bk.ru](mailto:markelovaoa@bk.ru)

*В статье рассмотрены структурно-морфологические особенности биокерамических нанокomпозитных покрытий, полученных методом плазменного напыления на основе модифицированных кальцийфосфатных порошков, а именно магний-, цинк-, серебро- и медьзамещенных гидроксиапатитов.*

**Ключевые слова:** плазменное напыление, замещенные гидроксиапатиты, нанокomпозитные покрытия.

## STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL FEATURES OF NANOCOMPOSITE PLASMA COATINGS BASED ON MODIFIED CALCIUM PHOSPHATE POWDERS

**A.V. Liasnikova**, Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Ph.D. of Engineering, [kafbma2011@yandex.ru](mailto:kafbma2011@yandex.ru)

**I.P. Grishina**, Docent, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Doctor of Engineering, [kafbma2011@yandex.ru](mailto:kafbma2011@yandex.ru)

**O.A. Dudarev**, Docent, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Doctor of Engineering, [kafbma2011@yandex.ru](mailto:kafbma2011@yandex.ru)

**O.A. Markelova**, Associate Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, [markelovaoa@bk.ru](mailto:markelovaoa@bk.ru)

*The article deals with the structural and morphological features of bioceramic nanocomposite coatings obtained by plasma spraying on the basis of the modified calcium phosphate powders, namely magnesium-, zinc-, and silver-CU-exchanged hydroxyapatite.*

**Keywords:** plasma spraying, substituted hydroxyapatite, nanocomposite coatings.

Технология плазменного напыления нашла широкое применение для создания покрытий на изделиях медицинской техники, в частности на поверхностях внутрикостных имплантатов [1]. Технология плазменного напыления экономична, высокопроизводительна и позволяет формировать пористые, адгезионнопрочные покрытия из различных материалов [2–3].

Важной задачей имплантологии является повышение остеоинтеграционных свойств имплантатов [4]. Перспективным методом придания имплантатам улучшенных механических и остеоинтеграционных характеристик является модификация материалов, используемых в процессах создания покрытий. Авторами предлагается формировать покрытия внутрикостных имплантатов на основе порошков металлзамещенных гидроксиапатитов (ГА): магний- (Mg-ГА), цинк – (Zn-ГА), серебро – (Ag-ГА), медьзамещенных (Cu-ГА) методом электроплазменного напыления [5–7].

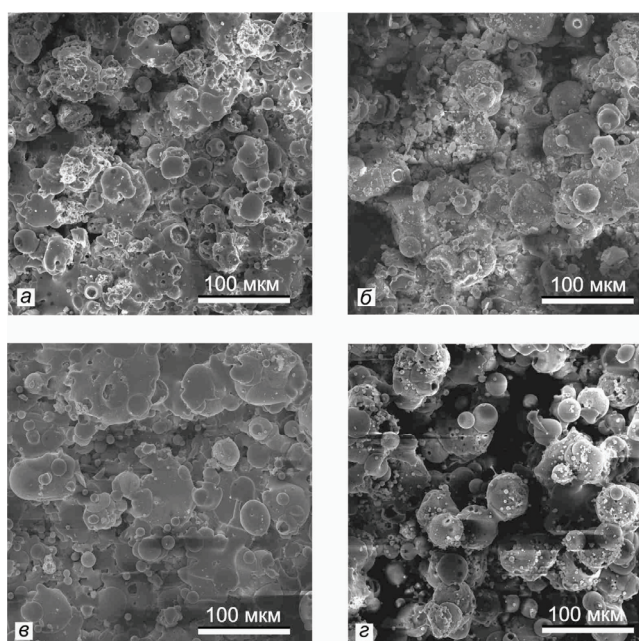
Плазменное напыление покрытий производилось на полуавтоматической установке УПН-28. Для проведения качественного сравнительного эксперимента плазменное напыление металлзамещенных ГА производилось при одинаковых режимах напыления (табл.).

**Режимы плазменного напыления покрытий на основе металлзамещенных ГА**

| Тип порошка   | Ток дуги, А | Дисперсность порошка, мкм | Расход плазмообразующего газа, л/мин | Расход транспортирующего газа, л/мин | Дистанция напыления, мм |
|---------------|-------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Титан         | 300         | 100-150                   | 20                                   | 5                                    | до 150                  |
| Замещенные ГА | 350         | до 90                     | 20                                   | 5                                    | до 50                   |

Для исследования морфологии плазмонапыленных покрытий использовались цилиндрические титановые образцы высотой 1,5 мм и диаметром 6,5 мм. Для подготовки поверхности образцов к напылению проводились их очистка и обезжиривание в установке ультразвуковой очистки «УЗУМИ-2» в водном растворе при температуре от 35 до 40 °С, частоте 18 кГц в течение 3 мин. Следующим подготовительным этапом был процесс воздушно-абразивной обработки, который осуществлялся при помощи аппарата АСОЗ 1.2 МЕГА порошком электрокорунда.

Анализ морфологии и химического элементного состава поверхности были проведены с использованием автоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) MIRA 2 LMU, оснащенного системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350.



**СЭМ микроскопия плазмонапыленных замещенных гидроксиапатитовых покрытий:**

*a* – Mg-ГА, *б* – Zn-ГА, *в* – Ag-ГА, *г* – Cu-ГА



Анализ СЭМ-изображений показывает, что в покрытиях, сформированных порошком магнийзамещенного ГА (рис., а), преобладают частицы округлой формы размером 10–25 мкм с малодеформированной поверхностью и выраженными краями. Также присутствуют микрокапли порошка размером 1–5 мкм и наночастицы размерами 100–250 нм.

Плазмонапыленные частицы порошка Zn-ГА имеют сферическую форму с развитой поверхностью и размерами порядка 40–60 мкм (рис., б), фиксируется наличие округлых частиц-капель размерами 5–10 мкм. Поверхность крупных частиц покрыта наночастицами размерами 70–125 нм.

Структура плазмонапыленного Ag-ГА покрытия представлена в виде плотноупакованных проплавленных частиц с неровными краями-брызгами (рис., в), размеры отдельных образований 25–40 мкм, наряду с этим в покрытии присутствуют частицы округлой формы размером до 50 мкм. Обнаруживается присутствие в покрытии наночастиц размерами 70–200 нм.

В покрытии, образованном частицами порошка Cu-ГА присутствуют макро- и нанопоры, размером 1–5 мкм и менее (рис., г). Покрытие сформировано из наслоения расплюснутых частиц, размерами 20–100 мкм с присутствием округлых образований размерами 2–5 мкм, зафиксированных на границах напыленных частиц, а также частиц округлой формы размером до 50 мкм. Также обнаружено наличие наночастиц размером до 100 нм.

Итак, СЭМ плазмонапыленных покрытий, сформированных порошками замещенных ГА показала, что во всех типах покрытий присутствуют наночастицы порошка ГА, что согласно литературным данным [8–11] может позитивно сказаться на процессах остеоинтеграции покрытий. Наибольшее проплавление и деформация при ударе о подложку происходит с порошками серебро- и медьзамещенных ГА. Покрытия, образованные порошками магний- и цинкзамещенного гидроксиапатита представлены более выраженной морфологией частиц, что также может благоприятно сказаться на процессах остеоинтеграции имплантатов с данным покрытием.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РФФИ в рамках научных проектов № 16-08-01250 а , № 15-03-02767 а и № 16-33-60154 мол\_а\_дк, а также гранта Президента для государственной поддержки молодых российских ученых РФ – докторов наук МД-1403.2017.8 и стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов СП-289.2015.4.*

### **Список литературы**

1. Лясников В.Н. Плазменное напыление: монография / В.Н. Лясников, А.В. Лясникова, О.А. Дударева. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2016. 643 с.
2. Технологические особенности изготовления медицинских имплантатов / Таран В.М., Лясникова А.В., Маркелова О.А., Дударева О.А. // Медико-экологические информационные технологии – 2015. Отв. ред. Н.А. Кореневский. 2015. С. 87–90.
3. Маркелова О.А., Кошуро В.А., Протасова В.А., Лясникова А.В. Особенности нанесения покрытий при помощи установки плазменного напыления УПН 28 // Наноматериалы и нанотехнологии: проблемы и перспективы. сборник материалов III Международной заочной научной конференции для молодых ученых, студентов и школьников. 2014. С. 333–337.
4. Сыса О.А. Причины возникновения осложнений после имплантации зубов // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2015. Т. 5. № 11. С. 1445.
5. Дударева О.А., Лясникова А.В., Маркелова О.А., Лясников В.Н., Гришина И.П., Лепилин А.В., Пичхидзе С.Я. Биосовместимые материалы на основе магнийзамещенного трикальцийфосфата // Новые технологии создания и применения биокерамики в восстановительной медицине: матер. IV междунар. научно-практич. конф. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2016. С. 32–35.



6. Лясникова А.В., Дударева О.А., Маркелова О.А., Гришина И.П., Загибашев М.В. Особенности морфологии цинкзамещенных трикальцийфосфатных покрытий // Наноматериалы и нанотехнологии: проблемы и перспективы: сб.материал. V Междунар. научн. конф.для молодых ученых, студентов и школьников. 2016. С. 102–104.

7. Дударева О.А., Лясникова А.В., Маркелова О.А., Гришина И.П., Сабирова А.В. Исследование структуры плазменных покрытий на основе Ag-замещенного гидроксиапатита // Актуальные вопросы биомедицинской инженерии: сб. матер. IV Всероссийской науч. конф. для молодых ученых, студентов и школьников. Отв. ред. В.Н. Лясников. 2014. С. 211–213.

8. Tautzenberger A., Kovtun A., Ignatius A., Tautzenberger A. Nanoparticles and their potential for application in bone. International Journal of Nanomedicine. 2012, vol. 7, pp. 4545–4557.

9. Smeets R., Stadlinger B., Schwarz F., Beck-Broichsitter B., Jung O., Precht C., Kloss F., Grobe A., Heiland M., Ebker T. Impact of dental implant surface modifications on osseointegration. BioMed Research International. 2016, pp. 1–16.

10. Liu X., Zhang C., Yin B., Zhang S., Zhang D., Ma J., Deng Z. Paramagnetic Fe-hydroxyapatite Coating: A promising bi-functional composite for enhancing dental implant osseointegration. Medical Science Hypotheses. 2014, vol. 1, pp. 1–4.

11. Svanborg L.M., Hoffman M., Andersson M., Currie F., Kjellin P., Wennerberg A. The effect of hydroxyapatite nanocrystals on early bone formation surrounding dental implant. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2011, vol. 15, iss. 40(3), pp. 308–315.

## References

1. Lyasnikov V.N. (2016) *Plazmennoe napylenie: monografiya. Pod. red. V.N. Lyasnikov, A.V. Lyasnikova, O.A. Dudareva* [Plasma spraying: monograph. Ed. V.N. Lyasnikov, A.V. Lyasnikova, O.A. Dudareva] *Saratov. gos. tekhn. un-t* [State Tech. University], Saratov, 643 p.

2. Taran V.M., Lyasnikova A.V., Markelova O.A., Dudareva O.A. (2015) *Tekhnologicheskie osobennosti izgotovleniya meditsinskikh implantatov. Pod. red. Taran V.M., Lyasnikova A.V., Markelova O.A., Dudareva O.A. Mediko-ekologicheskie informatsionnye tekhnologii – 2015. Otv. red. N.A. Korenevskiy* [Technological features of manufacture of medical implants. Medical and Environmental Information Technology – 2015. Resp. ed. N.A. Korenevskiy], pp. 87–90.

3. Markelov O.A., Koshur V.A. (2014) *Osobennosti naneseniya pokrytiy pri pomoshchi ustanovki plazmennogo napyleniya UPN 28. Nanomaterialy i nanotekhnologii: problemy i perspektivy. Sbornik materialov III Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchnoy konferentsii dlya molodykh uchennykh, studentov i shkol'nikov* [Features coating using plasma spraying installation UPN 28. Protasova V.A., Lyasnikova A.V. Nanomaterials and Nanotechnologies: problems and prospects. sourcebook of the III International correspondence scientific conference for young scientists, students and schoolchildren], pp. 333–337.

4. Sysa O.A. (2015) *Prichiny vozniknoveniya oslozhneniy posle implantatsii zubov. Byulleten' meditsinskikh internet-konferentsiy* [Causes of complications from dental implants. Bulletin of Medical Internet conferences], No. 11, vol. 5, p. 1445.

5. Dudareva O.A., Lyasnikova A.V., Markelova O.A., Lyasnikov V.N., Grishina I.P., Lepilin A.V., Pichhidze S.Y. (2016) *Biosovmestimye materialy na osnove magniyzameshchennogo trikal'tsiyfosfata. Novye tekhnologii sozdaniya i primeneniya biokeramiki v vosstanovitel'noy meditsine: mater. IV mezhdunar. nauchno-praktich. konf.* [Biocompatible materials based magniyzameshchennogo tricalcium phosphate. New technology development and application of bioceramics in regenerative medicine: studies of the IV Intern. Scientific-practical. Conf.] *Natsional'nyy issledovatel'skiy Tomskiy politekhnicheskii universitet* [National Research Tomsk Polytechnic University], pp 32–35.

6. Lyasnikova A.V., Dudareva O.A., Markelova O.A., Grishina I.P., Zagibashev M.V. (2016) *Osobennosti morfologii tsinkzameshchennykh trikal'tsiyfosfatnykh pokrytiy. Nanomaterialy i nanotekhnologii: problemy i perspektivy: sb.material. V Mezhdunar. nauchn. konf.dlya molodykh uchennykh, studentov i shkol'nikov* [Morphology zinc-substituted tricalcium phosphate coatings. Nanomaterials and Nanotechnologies: problems and prospects: source-book of the V Intern. Scientific. conf. for young scientists, students and schoolchildren], pp. 102–104.

7. Dudareva O.A., Lyasnikova A.V., Markelova O.A., Grishina I.P., Sabirova A.V. *Issledovanie struktury plazmennyykh pokrytiy na osnove Ag-zameshchennogo gidroksiapatita. Aktual'nye voprosy biomeditsinskoy inzhenerii: sb. mater. IV Vserossiyskoy nauch. konf. dlya molodykh uchenykh, studentov i shkol'nikov. Otv. red. V.N. Lyasnikov* [Study of plasma coating structures based on Ag-substituted hydroxyapatite. Topical issues of Biomedical Engineering: sourcebook of the IV All-Russian Scientific. Conf. for young scientists, students and schoolchildren. Ed. V.N. Lyasnikov], 2014, pp. 211–213.
8. Tautzenberger A., Kovtun A., Ignatius A., Tautzenberger A. (2012) Nanoparticles and their potential for application in bone. *International Journal of Nanomedicine*, vol. 7, pp. 4545–4557.
9. Smeets R., Stadlinger B., Schwarz F., Beck-Broichsitter B., Jung O., Precht C., Kloss F., Grobe A., Heiland M., Ebker T. (2016) Impact of dental implant surface modifications on osseointegration. *BioMed Research International*, pp. 1–16.
10. Liu X., Zhang C., Yin B., Zhang S., Zhang D., Ma J., Deng Z. (2014) Paramagnetic Fe-hydroxyapatite Coating: A promising bi-functional composite for enhancing dental implant osseointegration. *Medical Science Hypotheses*, vol. 1, pp. 1–4.
11. Svanborg L.M., Hoffman M., Andersson M., Currie F., Kjellin P., Wennerberg A. (2011) The effect of hydroxyapatite nanocrystals on early bone formation surrounding dental implant. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, vol. 15, iss. 40(3), pp. 308–315.

## НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

### ОПЫТ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ЭКСПЕРТНОГО СООБЩЕСТВА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРИОРИТЕТАМ РАЗВИТИЯ НАУКИ, ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИКИ В ИНТЕРЕСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБОРОНЫ СТРАНЫ И БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

**Е.А. Марышев**, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, [emarysh@extech.ru](mailto:emarysh@extech.ru)

**Н.А. Миронов**, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, [namir@extech.ru](mailto:namir@extech.ru)

*В статье приведены результаты анализа и обобщения опыта привлечения экспертного сообщества научно-технической сферы для разработки предложений по научно-технологическим приоритетам развития науки, технологий и техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства. Проанализированы и предложены методические рекомендации по рассмотрению прогнозных материалов. Рассмотрены основные особенности организации работы по экспертно-аналитическому исследованию тематических направлений, взаимодействия представителей образовательных и научных организаций и разработки материалов.*

**Ключевые слова:** экспертное сообщество научно-технической сферы, научно-технологические приоритеты развития науки, технологий и техники, экспертно-аналитические исследования, обеспечение обороны страны и безопасности государства.

### THE EXPERIENCE OF INVOLVING THE EXPERT COMMUNITY OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL SPHERE TO DEVELOP PROPOSALS ON SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PRIORITIES OF DEVELOPMENT OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND ENGINEERING IN THE INTERESTS OF NATIONAL DEFENCE AND STATE SECURITY

**E.A. Maryshev**, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, [emarysh@extech.ru](mailto:emarysh@extech.ru)

**N.A. Mironov**, Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, [namir@extech.ru](mailto:namir@extech.ru)

*The article presents the results of the analysis and generalization of experience of involving the expert community of scientific and technological sphere to develop proposals on scientific and technological priorities of development of science, technology and engineering in the interests of national defence and state security. Methodological guidelines for the review of the forecast data are reviewed and proposed. The key features of the expert-analytical research of thematic areas, features of interaction of representatives of educational and scientific organizations and preparation of expert's reports are considered.*

**Keywords:** the expert community of scientific and technological sphere; scientific and technological priorities of the development of science, technology and engineering; expert-analytical studies; national defence and state security.

Прогнозирование в области научно-технического и технологического обеспечения обороны и безопасности представляет собой деятельность участников стратегического планирования по разработке научно обоснованных представлений о рисках социально-экономического развития, угрозах национальной безопасности Российской Федерации, направлениях, результатах и показателях социально-экономического развития Российской Федерации, субъектов Российской Федерации и муниципальных образований [1]. К полномочиям органов государственной власти Российской Федерации относится определение приоритетов и целей обеспечения национальной безопасности Российской Федерации, а также способов и источников ресурсного обеспечения их достижения.

Приоритетные направления развития науки, технологий и техники должны быть взаимосвязаны со стратегическими целями и приоритетными направлениями, определенными в прогнозах и программах социально-экономического развития страны на среднесрочную и долгосрочную перспективу [2]. При этом на Министерство образования и науки Российской Федерации возложены обязанности по подготовке долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации и других материалов по комплексному анализу тенденций научно-технического и технологического развития Российской Федерации и иностранных государств с участием заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, государственных академий наук, научных организаций, высших учебных заведений и государственных корпораций. Такие материалы включают в себя, в том числе экспертно-аналитические оценки:

- тенденций мирового научно-технического и технологического развития;
- конкурентоспособности Российской Федерации;
- первоочередных потребностей страны в научных и технических достижениях исходя из стратегических целей социально-экономического и оборонного строительства;
- наличия природных, финансовых, материальных и кадровых ресурсов, а также научно-технического и технологического потенциала;
- публикационной и патентной активности российских ученых;
- основных технологий, обеспечивающих решение задач укрепления национальной обороноспособности и безопасности;
- социальных, технологических, экономических, экологических и политических аспектов развития национальной инновационной системы.

В свою очередь, приоритеты развития науки, технологий и техники в интересах обеспечения обороны и безопасности государства на долгосрочный период разрабатывается и корректируется исходя из:

- современных достижений и тенденций социально-экономического и научно-технологического развития Российской Федерации;
- наиболее важных вызовов и угроз для страны, путей борьбы с ними и необходимых для этого технологий и технических средств.

Задача состоит в том, чтобы сформулировать коллективное авторитетное мнение по наиболее важным вызовам и угрозам в области научно-технологического обеспечения обороны и безопасности и предложить возможные варианты ответа на них.

Для решения поставленной задачи предлагается дополнить методологию выявления приоритетов в области научно-технического и технологического обеспечения обороны и безопасности еще одним инструментом — привлечением экспертного сообщества научно-технической сферы.

В ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ накоплен определенный опыт привлечения экспертного сообщества научно-технической сферы для экспертизы материалов и разработки предложений в прогноз развития науки, технологий и техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства. В статье обобщен такой опыт и проанализированы особенности

процедуры привлечения экспертного сообщества для проведения такого вида экспертно-аналитических исследований.

При организации работы по экспертно-аналитическому исследованию и разработке материалов в интересах обеспечения обороны и безопасности государства необходимо учитывать три важных обстоятельства:

- конфиденциальность сведений, с которыми предлагается работать экспертам;
- компетенции привлекаемых экспертов в области обороны и безопасности в соответствии с Рубрикаторм Минобороны России;
- принадлежность привлекаемых экспертов к центрам компетенции и их научную авторитетность.

Подбор экспертов для разработки предложений по научно-техническому развитию науки, технологий и техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства осуществлялся с использованием информационной системы Федерального реестра экспертов научно-технической сферы, в котором аккредитовано более 4100 специалистов (рисунк).

- нормативно-методическое обеспечение (регламенты, методики, классификаторы);
- техническое обеспечение (аппаратно-программные средства удаленного доступа);
- информационно-аналитическое обеспечение (информационная система подготовки аналитических документов – ИСПАД).



**Организация работы по экспертно-аналитическому исследованию и разработке материалов в интересах обеспечения обороны и безопасности государства**

Процедура подбора экспертов-аналитиков для разработки аналитических материалов по оборонной тематике состоит из следующих операций:

- формирование поискового образа экспертов-аналитиков, отвечающего тематическим требованиям областей и разделов Рубрикатора направлений развития науки, технологий и техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства (далее – Рубрикатор);



- формирование темы исследований, раскрывающей конкретный раздел исследуемой тематической области Рубрикатора;
- поиск экспертов-аналитиков, уточнение и согласование тем исследований;
- формирование списка привлекаемых экспертов-аналитиков с учетом обеспечения наиболее полного исследования разделов тематической области Рубрикатора.

При подборе экспертов-аналитиков администратор Федерального реестра руководствуется следующими общими принципами [3]:

- соответствие — профиль эксперта-аналитика должен соответствовать заданной тематике проводимых экспертно-аналитических исследований;
- опыт и кругозор — эксперт-аналитик должен обладать знаниями в предметной области исследований, иметь отчетливое представление о научно-техническом потенциале отечественных разработчиков и ведущих иностранных государств;
- отсутствие конфликта интересов — эксперт-аналитик не должен иметь личной заинтересованности в подготовленных им рекомендациях и выводах;
- коллегиальность — для выполнения экспертно-аналитических исследований должна привлекаться группа экспертов-аналитиков, сформированная исходя из требования полноты раскрытия тематической области и сбалансированности уровней их профессиональной подготовки и компетенции;
- соблюдение требований к срокам выполнения работ — работа эксперта-аналитика должна быть завершена в сроки, обеспечивающие подготовку материалов к заседанию научно-технического совета.

Таким образом, поисковый образ экспертов-аналитиков формировался из двух групп реквизитов:

- группы, характеризующей объекты экспертно-аналитических исследований;
- группы, характеризующей квалификацию и опыт работы экспертов-аналитиков.

К реквизитам, характеризующим объекты экспертно-аналитических исследований, относятся тематические области Рубрикатора и результаты их декомпозиции на тематические разделы и темы экспертно-аналитических исследований.

К реквизитам, характеризующим квалификацию и опыт работы экспертов-аналитиков, относятся компетенции:

- по классификатору приоритетных направлений развития науки, технологий и техники Российской Федерации;
- по классификатору технологических платформ;
- по классификатору экспертных панелей Госпрограммы;
- по Государственному рубрикатору научно-технической информации (ГРНТИ);
- по расширенному международному классификатору OECD (Organization for Economic Cooperation and Development — Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР));
- по областям научно-технических интересов эксперта.

При подборе экспертов учитывались:

- наличие научных трудов в тематической области и разделе Рубрикатора, ученой степени, ученого звания, научный стаж работы;
- место работы и занимаемая должность;
- навыки работы с конфиденциальной информацией.

По результатам поиска был сформирован список потенциальных экспертов-аналитиков, отвечающих требованиям (содержанию) поискового образа.

Несмотря на представительный количественный состав Федерального реестра, допуск к работе с конфиденциальной информацией имеют всего 2–3% аккредитованных экспертов. Поэтому критерий допуска к конфиденциальной информации оказал решающее влияние на формирование экспертного пула.

В соответствии с Рубрикаторм приоритеты развития науки, техники и технологий объединены в 243 направления, названия которых отражают специфику вопросов обеспечения обороны и безопасности, но в прямой постановке не соответствуют перечисленным выше классификаторам научно-технической деятельности. Особенности формулировок приоритетов, используемых в Рубрикаторе, также существенно повлияли на подбор экспертов, в частности:

- рубрикатор приоритетов развития науки содержит 54 направления. Для проведения экспертно-аналитических исследований были отобраны и привлечены к работе 50 экспертов, которыми рассмотрены и представлены предложения по 39 направлениям развития науки;

- рубрикатор приоритетов развития технологий содержит 54 направления. Для проведения экспертно-аналитических исследований были отобраны и привлечены к работе 19 экспертов, которыми рассмотрены и представлены предложения по 25 направлениям развития технологий;

- рубрикатор приоритетов развития техники содержит 135 направлений. Для проведения экспертно-аналитических исследований были отобраны и привлечены к работе 16 экспертов, которыми рассмотрены и представлены предложения по 29 направлениям развития техники.

При проведении экспертно-аналитических исследований в институте было организовано взаимодействие представителей образовательных и научных организаций. Для выявления приоритетов в области научно-технического и технологического обеспечения обороны и безопасности государства были привлечены 85 экспертов, представляющих 77 организаций различных типов:

- образовательные организации – 24;
- научные организации РАН – 26;
- научно-исследовательские институты – 18;
- научные организации, представляющие бизнес-сообщество – 9.

Необходимо отметить, что в Федеральном реестре аккредитовано 287 экспертов из организаций, представляющих 34 технологические платформы.

Экспертно-аналитические материалы по приоритетам развития науки, технологий и техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства, разработанные экспертами в соответствии с методическими рекомендациями, включали:

- сравнительную оценку отечественного уровня научно-технического и технологического развития по отношению к мировому уровню;
- прогнозные оценки достижимых результатов в Российской Федерации и в иностранных государствах;
- наиболее значимые достигнутые результаты развития науки и техники, которые могут быть использованы в интересах обороны и безопасности Российской Федерации в прогнозный период;
- возможные области применения результатов развития науки, технологий, техники и ожидаемый военно-технический эффект;
- факторы ускорения и сдерживания развития научного (технологического, технического) направления;
- прогнозные оценки ресурсной обеспеченности научного (технологического, технического) направления.

С учетом результатов проведенного анализа и оценок уровня технологического развития привлеченными специалистами были сформулированы предложения по уточнению приоритетов развития науки, технологий и техники в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства. Экспертные предложения опирались на выводы, содержащиеся в обзорах глобальных отраслевых технологических трендов, играющих ключевую роль с точки зре-

ния национальных интересов. Кроме того, в них подробно описаны организационно-управленческие барьеры, без преодоления которых невозможно решить поставленные задачи.

В результате обобщения выводов, сформулированных опрошенными специалистами, было получено коллективное экспертное мнение, позволяющее выделить из всего многообразия приоритетов научно-технологического развития наиболее важные с точки зрения укрепления обороны и безопасности.

В заключение необходимо отметить, что с учетом накопленного опыта Федеральный реестр экспертов научно-технической сферы может выступить в качестве экспериментальной площадки по отработке методов взаимодействия Минобрнауки России и Минобороны России при выявлении приоритетов научно-технического развития в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства. Ограничения, выявленные в ходе использования экспертно-аналитического потенциала Федерального реестра научно-технической сферы при выполнении подобного рода исследований, связаны с повышенными требованиями к конфиденциальности информации, компетенциям экспертов и сжатыми сроками выполнения исследований.

*Работа выполнена в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания по проекту № 2.4260.2017/НМ.*

### **Список литературы**

1. Федеральный закон Российской Федерации от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации».
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 22.04.2009 № 340 «Об утверждении правил формирования, корректировки и реализации приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации».
3. Положение о Федеральном реестре экспертов научно-технической сферы. Available at: <https://reestr.extech.ru>.

### **References**

1. *Federal'nyy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 28 iyunya 2014 g. No. 172-FZ «O strategicheskom planirovanii v Rossiyskoy Federatsii»* [Federal Law of the Russian Federation of June 28, 2014, No. 172-FZ «On Strategic Planning in the Russian Federation»].
2. *Postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 22.04.2009 No. 340 «Ob utverzhdenii pravil formirovaniya, korrektyrovki i realizatsii prioritetnykh napravleniy razvitiya nauki, tekhnologiy i tekhniki v Rossiyskoy Federatsii i perechnya kriticheskikh tekhnologiy Rossiyskoy Federatsii»* [The Decree of the Government of the Russian Federation No. 340 of April 22, 2009 «On Approval of the Rules for the Formation, Correction and Implementation of Priority Directions for the Development of Science, Technology and Technology in the Russian Federation and the Critical Technologies of the Russian Federation»].
3. *Polozhenie o Federal'nom reestre ekspertov nauchno-tekhnicheskoy sfery* [Regulations on the Federal Register of Experts in the Scientific and Technical Sphere]. Available at: <https://reestr.extech.ru>.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. К 100-ЛЕТИЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ В ТЕХНИКЕ**

**А.М. Тишин**, проф. физ. факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Группа компаний АМТиС, д-р физ.-мат. наук

*В последние десятилетие вышли сотни научных работ, в которых интенсивно обсуждается вопрос о возможности применения редкоземельных постоянных магнитов в электрических машинах различного назначения. Созданы синхронные электромашинны на основе постоянных магнитов (СЭПМ) имеющие мощность до 65 МВт на низких оборотах, а также сверхвысокоскоростные маломощные СЭПМ до 1 М об./мин. Целью настоящей статьи является краткое описание текущего состояние дел в редкоземельной отрасли, а также изложение новых идей, уже используемых в автомобилестроении, авиастроении и других отраслях (например, магнитных систем на основе Хальбах цилиндров, псевдо прямого привода и др.) для снижения массо-габаритных показателей электроприводов специального назначения и повышение плотности крутящего момента. Представленный в публикации материал, позволяет также развеять фобии о стоимости постоянных магнитов, о их коррозии, старении (временной стабильности), размагничивании, устойчивости к ударным нагрузкам, радиационному воздействию и их вредном влиянии на человеческий организм.*

**Ключевые слова:** редкоземельные постоянные магниты, системы Хальбах цилиндров, массо-габаритные показатели электроприводов, электроприводы специального назначения, технологии специального назначения, влияние магнитов на человеческий организм.

## **PROSPECTS FOR THE USE OF RARE-EARTH PERMANENT MAGNETS IN ELECTRIC DRIVES OF A SPECIAL PURPOSE. TO THE 100 ANNIVERSARY USE OF PERMANENT MAGNETS IN ENGINEERING**

**A.M. Tishin**, Professor, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, AMT & C Group of Companies, Ph.D. of Physics and Mathematics

*In the last decade hundreds of scientific papers have appeared, in which the question of the possibility of using rare-earth permanent magnets in electric machines for various applications is intensively discussed. Synchronous electric machines based on permanent magnets (SEMPM) Having a power of up to 65 MW at low rpm, as well as ultra-high-speed low-power SEMPMs up to 1 M rpm. The purpose of this article is a brief description of the current state of affairs in the rare-earth industry, as well as the presentation of new ideas already used in the automotive, aircraft and other industries (for example, magnetic systems based on Halbach cylinders, pseudo direct drives, etc.) to reduce the mass-dimensional Indicators of special purpose electric drives and increasing the density of torque. The informaion presented in the publication also makes it possible to dispel phobias about the cost of permanent magnets, their corrosion, aging (temporary stability), demagnetization, resistance to shock loads, radiation exposure and their harmful effects on the human body.*

**Keywords:** rare-earth permanent magnets, Halbach systems of cylinders, mass-dimensional parameters of electric drives, electric drives of special purpose, special-purpose technologies, influence of magnets on the human body.



В настоящее время редкоземельные материалы уже широко используются в таких изделиях военной техники, как электроприводы управления оперением ракет, оптические системы наведения оружия, контроль гравитации в стабилизаторах «умных», авиационные электрогенераторы и др [1] (см рис. 1), в первую очередь, для повышения КПД, снижения массо-габаритных показателей и повышение удельных энергетических характеристик. Сравнительно полный перечень использования РЗМ в вооружениях и военной техники США дан в работе [2].



Рис. 1. Применение редкоземельных металлов по данным работы [1]



Вопрос повышения КПД электроприводов является крайне важным и имеет особое значение для России не только с технической, но и с исторической точки зрения, поскольку именно низкий КПД угольных котлов кораблей (около 6–8%), принимавших участие в битве при Цусиме, и, как следствие, нехватка угля не позволила им выбрать оптимальный (более длинный), но менее безопасный маршрут движения во Владивосток. До сих пор в современной западной литературе делается акцент на том, что главенствующим правилом является рассматривать только технические решения, не снижающие КПД. Так, например, эквивалентный объем двух генераторных установок ( $16 \text{ м}^3$ ) может быть сэкономлен при компоновке энергетической установки, только за счет 1% прироста эффективности генератора. Оптимизация силовой установки с газовой турбиной мощностью 80 МВт может позволить уменьшить объем топливных баков на  $603.5 \text{ м}^3$  [3].

Одним из первых шагов на пути повышения КПД стало, начало использования электромашин в составе судовых приводов. Как хорошо известно, идея использовать электрический привод для речных и морских судов возникла у итальянского инженера Цесидо Дел Пропосто в 1903 г., который работал параллельно, но независимо от Людвиг Нобеля, работающего в Санкт-Петербурге. В 1903 г. он подал патенты во многих странах мира [4, 5]. Отметим, что в патентах предлагалось использовать электромагнитную муфту в составе привода.

Поскольку в настоящее время синхронные электромашины на основе постоянных магнитов (СЭПМ) имеют наивысшие значения КПД (который может достигать 98.5% без учета потерь в инверторе), то представляло интерес осветить современное состояние дел в данной области. История развития постоянных магнитов (ПМ) и их использования в специальной технике развивалась параллельно разработки концепции электрических приводов и насчитывает около 100 лет (по крайней мере, та ее часть, когда магниты производились руками человека, см. рис. 2 и замечания ниже по тексту). Как видно из рис 1, за данный период энергетические характеристики ПМ были улучшены приблизительно в 100 раз. На рис. 1 представлены только некоторые из наиболее распространенных марок ПМ, общее количество которых уже перевалило за 20. При этом ПМ являются только одним из магнитных материалов, используемых в современных электромашинах. Важной составной частью электромашин являются магнитомягкие магнитные материалы (больше известные широкому читателю как статорное железо), которые, при правильном подборе, существенно снижают потери на перемагничивание. Поскольку существует широкий выбор магнитомягких материалов (марка, химсостава, технологии производства и т.д.), а правильный выбор напрямую влияет на величину КПД, то автор настоящей работы планирует рассмотреть современное состояние дел в данной области в рамках отдельной работы. Так, например, магнитострикционные преобразователи на основе Терфенола-D (сплав с низкой магнитной анизотропией), работающие в ультразвуковом диапазоне, могут быть использованы для оценки состояния валов электромашин, имеющих трещины и другие дефекты [7]. В целом, в настоящее время идет массовое внедрение, так называемых «умных» материалов, таких как магнитные жидкости и других в изделия специального назначения [8].

Интересно отметить, что если первый природный ПМ (естественно намагниченный ударом молнии кусок магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , содержащий включения маггемита  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) использовался в первых компасах на судах еще в 6-м века до нашей эры, то ферриты бария  $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$  и стронция  $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$  до сих пор занимают 85% (в весовом выражении) мирового рынка постоянных магнитов (35% в ценовом выражении), те люди в течении 25 столетий использовали и используют ПМ на основе оксидов. Помимо массового использования в быту (ферритовые кольца для динамиков и магнетроны в СВЧ печах), ферриты нашли свое многотоннажное применение в горнодобывающей промышленности, работая в составе магнитных сепараторов на открытых площадках по 50 и более лет.

Редкоземельные ПМ широко используются при проектировании магнитных систем различного назначения (например, магнитные фокусирующие системы для клистронов, магне-

тронов, ЛБВ, акустические преобразователи и т.д.), а также тяговых СЭПМ, электродинамических преобразователей, системы привода и стабилизации антенн и решеток, приводах слежения, системах управления оперением, магнитных муфт, магнитных редукторов, систем размагничивания, датчиков положения, магнитных захватов, стопоров, предохранителей, фиксаторов и т.д. ПМ используются при проектировании магнитных подшипников, например, мощных высокоскоростных турбин, накопителей энергии на основе СЭПМ и целого ряда других изделий, включая такие оригинальные, как установка «заплат» на постоянных магнитах на танкерах при утечках нефти.

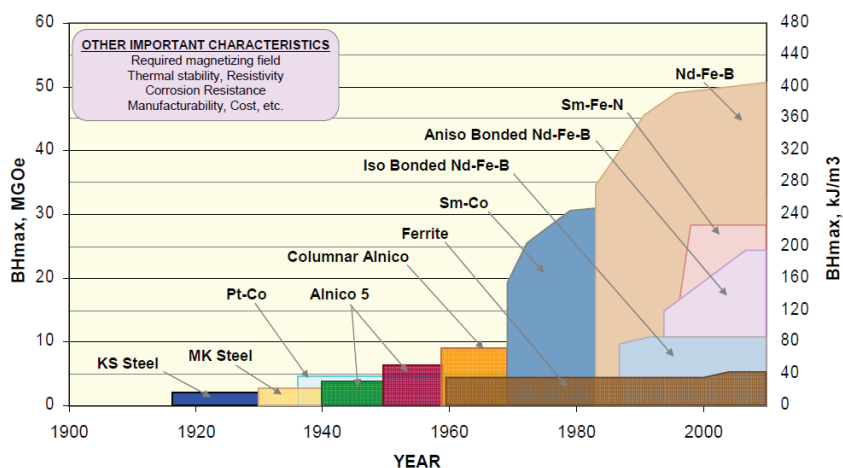


Рис. 2. История развития постоянных магнитов [6]

Так, например, разработанные ООО «ПМТиК» (ГК АМТ&С) магнитные муфты позволяют обеспечить плавное включение и выключение привода, мягкий старт, а также используются как предохранительная, легко отключаемая муфта, например, при попадании инородных предметов на выходной вал. Магнитные муфты позволяют обеспечить передачу крутящего момента в воду без прямого контакта (через немагнитную перегородку). Гибридные магнитные муфты позволяют малыми токами включать и выключать электрооборудование и экономить до 30% электроэнергии.

Системный подход ООО «Полимагнит» Северо-Запад (ГК АМТ&С) к проблеме мотор-колеса позволил решить одну из самых технически сложных задач в области электропривода на основе ПМ. Разработанный принцип подпрессоривания в сочетании с СЭПМ с радиальным магнитным потоком с высокими удельными характеристиками позволил не только решить проблему мотор-колеса, но и расширить функционал автомобиля сделав возможным разворот на месте или активное демпфирование подвески автомобиля во время движения, что существенно облегчает работу следящих приводов и позволяет синхронизировать движение нескольких тысяч колесных транспортных средств и других систем. С мотор-колесом автомобиль превращается в четыре колеса связанных с источником энергии и бортовым компьютером только электрическими проводами. А при наличии навигационной системы, системы связи, управления и контроля — это уже не автомобиль в привычном нам понимании, это электромеханический робототехнический комплекс.

В прошлом веке, постоянные магниты марки альнико, например, массово использовались при производстве индукционных электросчетчиков десятилетиями демонстрируя температурную стабильность в широкой области температур. Данная марка ПМ до сих пор используются в составе авиационных генераторов на самолетах и вертолетах, а также в со-

стае сейсмоприемников выпускаемых только в РФ до 100 тыс. шт. в мес. и применяемых для нефтеразведки, в том числе в зимнее время на замерзших болотах.

Постоянные магниты SmCo продолжительно время используются всеми крупными предприятиями РФ в составе электроприводов погружных нефтяных насосов на глубинах до 3.52 км, давлениях в скважине до 1000 атм., с доказанным на практике ресурсом работы электромашин до 1100 суток [9], а также в СВЧ электронике и связи в составе магнитных фокусирующих систем для клистронов и магнетронов различного назначения. Использование магнитов Sm-Co в электромашинных гироскопах спутников связи обусловлено тем, что их магнитные свойства не подвержены радиационному воздействию. При этом необходимо отметить, что такие марки ПМ как альнико (в российской терминологии ЮНДК), ферриты и самарий-кобальт SmCo используются в технических устройствах как гражданского, так и военного назначения от 75 до 45 лет соответственно (рис. 1).

Таким образом, анализ применения ПМ, позволяет сделать вывод, что ПМ длительное время используются в составе сложных технических изделий, в том числе в тяжелых условиях эксплуатации и, при соблюдении технологии изготовления и правильном использовании в составе изделия, обеспечивают длительное, стабильное функционирование изделия в широкой области температур.

При правильном проектировании изделия и подборе марок, ПМ практически не подвержены старению (временной стабильности), коррозии, радиации, механическим воздействиям, размагничиванию (размагничивающее поле должно быть как минимум на 2 кЭ меньше величины коэрцитивной силы при рабочей температуре) и не оказывают вредного влияния на человеческий организм, при соблюдении разумных предосторожностей [10]. При этом необходимо отметить, что если в зазоре электромшины в замкнутом и недоступном для человека пространстве, как правило, генерируется магнитная индукция в приблизительном диапазоне 0.4–2.35 Тл, то в широко используемых в настоящее время в медицине магнитных томографах, магнитные поля достигают напряженности 3 Тл, а обследование различных частей тела человека, включая головной мозг, продолжается до 1 часа и более.

ПМ марки NdFeB были открыты случайно в научно-исследовательских лабораториях ВМС США в 1981 г. при попытке улучшить свойства магнитомягких магнитных материалов [6]. Сразу после разработки технологии получения и начала массового производства редкоземельных (РЗМ) ПМ марки NdFeB (первый магнит NdFeB был продан только в 1984 г.) возник вопрос о возможности применения данных марок ПМ, как в общепромышленных изделиях в быту, автомобилестроении, так и в приводах различного назначения. Дальнейшее развитие показало, что более трети выпускаемых в настоящее время РЗМ ПМ используются при производстве именно электромашин (рис 3.). При этом, к настоящему времени созданы синхронные машины на основе постоянных магнитов (СМПМ) имеющие мощность до 65 МВт на низких оборотах, а также сверхвысокоскоростные маломощные СМПМ до 1 М об./мин. Основные физические и механические свойства всех ПМ сейчас хорошо изучены [11], редкоземельные ПМ доступны [12] и могут быть использованы в проектировании оборудования. Основы теории магнитокристаллической анизотропии, являющейся основой создания высококоэрцитивных магнитов, изложены в нашей работе [13].

Необходимо отметить, что если ранее некоторые производители магнитов выстраивались в США в очередь, чтобы заплатить миллионы долларов за право на производство спеченных NdFeB магнитов, то сейчас эра доминирования Китая стала реальностью, но большинство наблюдателей считают, что китайские инвестиции в РЗМ отрасль были чрезмерны, поскольку мощности по производству NdFeB загружены менее 50%, в то время как доля китайских производителей на мировом рынке в настоящее время превышает 80% [14] и упадет ниже 70% только к 2018 г. При этом, не менее 10 из 200 китайских производителей могут выпускать до 5 тыс. тонн РЗМ магнитов в год при годовой емкости рынка РФ на уровне 200 т. Таким образом, нет сомнений в том, что обилие производителей РЗМ ПМ смогло бы

держат цены на рынке на стабильном уровне (рис. 4). Однако, манипуляции китайского правительства с ценами на сырье РЗМ в 2011 году привели к появлению ряда альтернативных поставщиков РЗМ сырья вне Китая и прежде всего в США (Molycorp) и Австралии (Линас). Molycorp, ранее планировавший ежегодный выпуск до 40 тыс. тонн РЗМ оксидов, подал заявление о банкротстве в июне 2015 года и, таким образом, возникновение новых проблем в мире с РЗМ сырьем вполне возможно, в особенности при использовании данной сырьевой зависимости в политических целях, однако подобный вариант развития событий в настоящих условиях сближения отношений России и Китая маловероятен. Однако, необходимо признать, что по сравнению с базовыми металлами редкоземельные, как правило, производятся небольшим числом крупных производителей и, с глобальной точки зрения, имеют относительно более высокий риск поставки.

Rare Earth Magnets by Application, 2012 year-end forecast

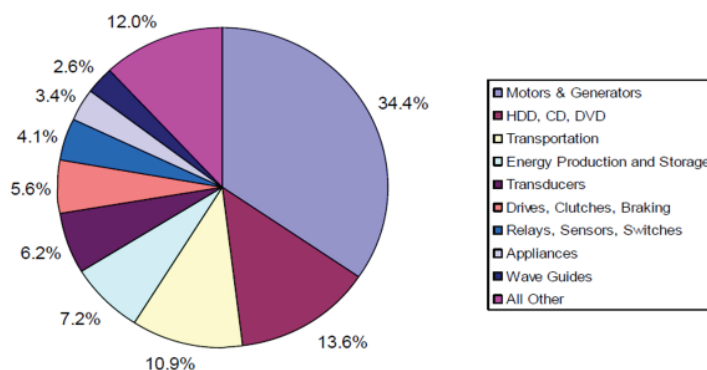


Рис. 3. Сравнительная диаграмма различных применений редкоземельных постоянных магнитов [5]

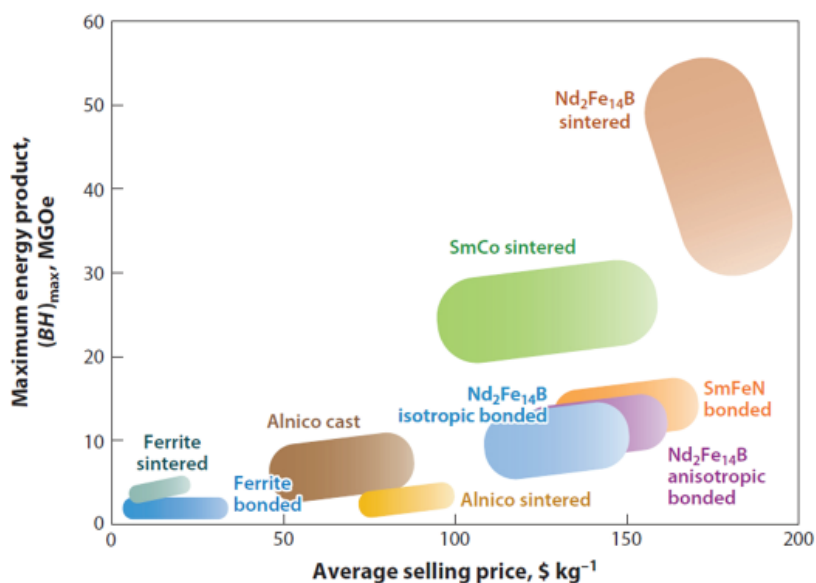


Рис 4. Зависимость максимального энергетического произведения магнитов от их цены за кг на рынке США в 2012 г. [15]

В этой связи шаги Минпроторга РФ по запуску подпрограммы «Технологии редких и редкоземельных металлов» государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» по развитию РЗМ отрасли в РФ вполне обоснованы. Прогнозные ресурсы РЗМ в России оцениваются в 5,2 млн тонн в пересчете на сумму РЗМ оксидов. К 2018 году ожидается выпуск до 10 тыс. тонн оксидов РЗМ в год. [16]. Весьма активные шаги в данном направлении предпринимает ОАО «Акрон», который в 2011 году построил собственную опытную установку по выделению концентрата редкоземельных элементов из технологических потоков переработки апатитового концентрата с дальнейшим получением пяти продуктов — лантана, церия, неодима, концентратов легкой и тяжелой групп РЗМ элементов [17]. В 2014 г. завершено строительство производственной установки мощностью 200 т. оксидов в год. Текущие вложения в проект составили около 2 млрд руб.

Таким образом, все это дает надежду на появление собственной РЗМ ресурсной базы в России и, таким образом, необходимо упреждающие широкомасштабное начало работ по разработке и массовому внедрению продуктов высоких переделов РЗМ является своевременным.

Основным держателем технологии на производство РЗМ ПМ является Hitachi Metals, которая владеет более 620 патентами и с 2012 г. судится с десятками компаниями в США, пытаясь привлечь их к ответственности за незаконное использование своих патентов. На территории Российской Федерации компании NEOMAX (слияние с Hitachi) и NIPPON STEEL (слияние с Sumitomo) не имеют действующих патентов по спеченным постоянным магнитам марки NdFeB. Три действующих патента компании NEOMAX посвящены перспективным постоянным магнитам, которые включают в себя магнитотвердую фазу с кристаллической структурой типа  $R_2Fe_{14}B$  и магнитномягкую фазу. Глобальный мировой рынок РЗМ магнитов оценивается в 20 млрд долл. в то время как на Рождество американские потребители тратят более \$ 600 млрд [14]. Мало того, это даже меньше затрат американцев на косметику и препараты для снижения веса (\$50 млрд и \$60 млрд в год соответственно). Во всем мире существует более 1500 производителей, дистрибьюторов и изготовителей изделий на основе различных ПМ с продажами в среднем по \$13 млн в год на компанию.

Вначале многие потребители больших объемов РЗМ ПМ и, в частности, производители жестких дисков компьютеров, автомобильных компонент, приборов и ветряных турбин, рассматривали РЗМ ПМ как простое сырье и делали все возможное, чтобы использовать свои привлекательные объемы для достижения максимально низких цены. Этим в настоящее время страдает и ряд российских потребителей. Однако современные высокотехнологичные продукты не только используют марки магнитов специально скорректированные под конкретное изделие и позволяющие добиться оптимальных эксплуатационных характеристик изделия, но и требуют тщательного контроля целого ряда его свойств высококвалифицированными специалистами с применением поверенного современного оборудования. Мало того, часто бывает, что ПМ стандартных марок, приобретенные из двух разных поставщиков и испытанные в одинаковых условиях, показывают существенно разные магнитные характеристики и, в особенности, в условиях постоянного термоциклирования в процессе эксплуатации. Ведь само название  $Nd_2Fe_{14}B$  это только торговая марка магнита, в химический же состав РЗМ ПМ определенной марки данного типа ПМ помимо Nd, Fe и B, также часто могут входить Gd, Dy, Tb, Y, Co, Cu, Ga, Al, Nb и другие. Необходимо отметить, что ряд китайских производителей пытается, не только заменить более дорогостоящие материалы дешевыми, но и зачастую нарушает технологий производства. Однако условия и время температурной обработки магнитов существенно влияют на ширину и форму петли гистерезиса (данные для  $Sm_2Co_{17}$  представлены, в качестве примера, на рис. 6).  $Sm_2Co_{17}$  представляет собой сложный сплав, содержащий также добавки Fe, Cu и Zr, которые в совокупности с окончательной термообработкой могут обеспечить оптимальную стабильную микроструктуру сплава, которая является комбинацией фазы 2:17 и фазы 1:5 по границам зерен. Добавление гадолиния в состав данного сплава позволяет добиться практически ну-



левого температурного коэффициента. Поскольку постоянные магниты марки  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  содержат около 50% кобальта, то последний рост цен на кобальт оказывает существенное влияние на стоимость производства данной марки магнитов.

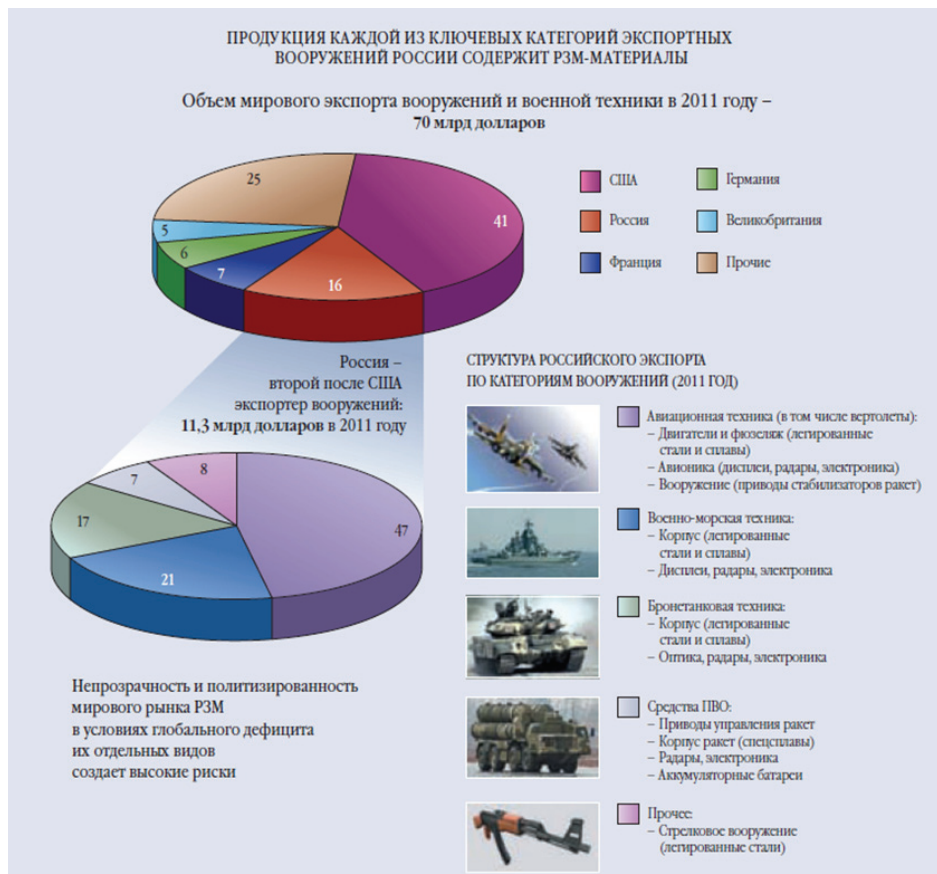


Рис. 5. Применение РЗМ в вооружении и военной технике РФ [1]

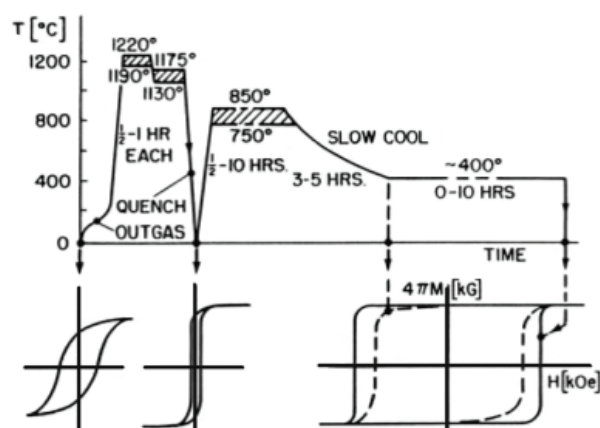


Рис. 6. Типичный температурный профиль для спекания и последующей термической обработки постоянного магнита марки  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  и влияние термообработки на ширину и форму петли гистерезиса [18]

Необходимо отметить, что для устранения зависимости от редкоземельного сырья, в последние годы в мире выполнен большой объем работ по разработке высокоэнергетичных ПМ не содержащих РЗМ элементы. Достижение очень сильной магнитной анизотропии в 3d материалах является сложной, но не невыполнимой задачей [19], но это трудно, потому, что нет общего рецепта как этого достичь. В работе [19] предпринята попытка исследования менее изученных 3d соединений, на примере  $(\text{Fe}_{0.7}\text{Co}_{0.3})_2\text{V}$ . Показано, что в принципе, нет никаких фундаментальных причин, почему 3d магнит не может обладать гораздо более высокой энергией анизотропии, чем несколько МДж  $\text{м}^{-3}$ , т.е. как в лучших известных материалов в настоящее время. В работе [20] показано, что постоянные магниты с частичным замещением неодима церием и железа кобальтом имеют значения коэрцитивной силы сопоставимые с высококачественными РЗМ ПМ легированными диспрозием. Использование Се и Со может в будущем помочь исключить необходимость в добавлении дорогостоящего Ду для увеличения коэрцитивной силы, по крайней мере при производстве низких марок магнитов, однако вряд ли приведет к полной замене всех высокотемпературных марок [20]. Себестоимость производства церий содержащих магнитов также существенно меньше.

Один из перспективных методов производства наноструктурированных магнитов запатентован ООО «ФМТ» (ГК АМТиС) совместно с учеными НИТУ «МИСиС» [21].

Как упоминалась выше, ПМ магниты могут работать в широкой области температур. На рис. 7. приведены температурные диапазоны возможного технического использования ПМ 4-х различных марок. Как видно из рис. 7, если ПМ марок альнико и SmCo могут быть использованы в крайне широком диапазоне от приблизительно  $+500-550^\circ\text{C}$  до практически температуры жидкого гелия (приблизительно  $-269^\circ\text{C}$ ), то область температур ПМ марки NdFeB лежит в диапазоне от  $+220^\circ\text{C}$  до  $-125^\circ\text{C}$ , а ферритов ограничена диапазоном от  $-40^\circ\text{C}$  до приблизительно  $220^\circ\text{C}$ . Важно отметить, что если максимальное энергетическое произведение 45 марки NdFeB возрастает при уменьшении температуры до величины 55 МГсЭ при минус  $150^\circ\text{C}$  и резко падает при нагреве, то для магнитов альнико данная величина незначительно изменяется во всем приведенном на рис. 8 температурном диапазоне от  $-150$  до  $300^\circ\text{C}$ . При этом в отличие от всех других марок постоянных магнитов, величина коэрцитивной силы стронциевого феррита  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  заметно снижается при понижении температуры. Положительный температурный коэффициент по коэрцитивной силе  $\sim +9\text{Э}/^\circ\text{C}$  (величина  $H_{cj}$  возрастает от 3,2 кЭ при  $0^\circ\text{C}$  до 5,9 кЭ при  $300^\circ\text{C}$ ) [22], имеющий место в магнитотвердых ферритах, не запрещает их использования в электромашинах в Российской Федерации, но делает это проблематичным при температурах  $-40^\circ\text{C}$  и существенно затрудняет холодный пуск, например, стартеров. Именно поэтому, а также для снижения массо-габаритных характеристик (это является весьма важным для подкапотного пространства современных западных автомашин), такие производители как Bosh перешли на использование магнитов марки NdFeB в автомобильных стартерах и генераторах.

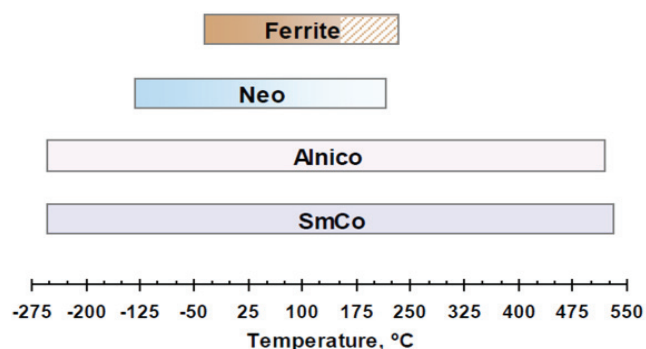


Рис. 7-а. Температурные области применения постоянных магнитов различных марок

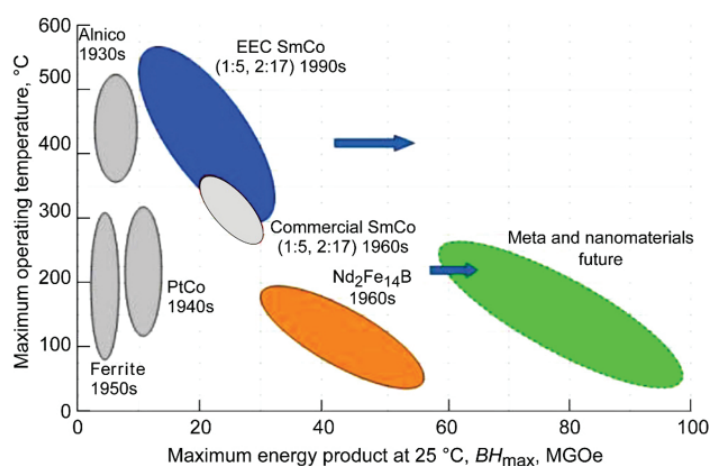


Рис. 7-б. Зависимость максимального энергетического произведения от температурного диапазона для различных марок магнитов по данным корпорации EEC

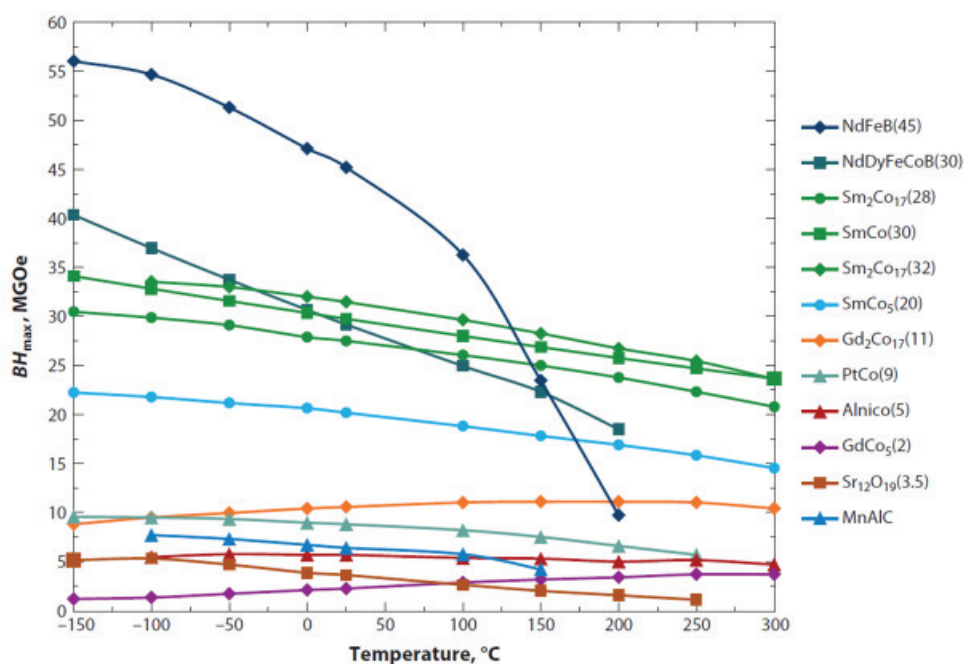


Рис. 8. Зависимость максимального энергетического произведения магнитов от температуры [14]

Синхронные электромашин, которые используют РЗМ ПМ несколько дороже из-за высокой стоимости РЗМ элементов, но как отмечалось выше, более эффективны (имеют более высокий КПД и удельные энергетические параметры) и имеют меньшие габариты, чем электромашин использующие другие типы ПМ и асинхронные и явнополусные электромашин, а также значительно меньший потребляемый ток и ток холостого хода. Однако, эффективность электромашин с РЗМ ПМ может быть несколько (около 1%) снижена из-за низкого электрического сопротивления металлических РЗМ ПМ, что, при не правильном

проектировании, может повышать потери от вихревых токов в электромашине. Эта проблема не проявляет себя в электромашинах, которые используют гораздо более слабые ферритовые ПМ и магнитопласты, которые являются неметаллическими и непроводящими и, таким образом, не испытывают диссипативных потерь от вихревых токов.

Ферритовые ПМ изготовлены из недорогого сырья, и являясь оксидами, имеют отличную коррозионную стойкость, но имеют приблизительно в 10 раз более низкие энергетические показатели и для достижения требуемых рабочих характеристик в таких электромашинах требуется использовать по массе в 6 раз больше ПМ в роторе и до 4 раз больше меди в статоре, по сравнению с электромашинами на основе РЗМ ПМ, что ограничивает их применение, например, в гибридных транспортных средствах. Но даже такое увеличение массы не может обеспечить необходимую мощность в генераторном режиме в случае необходимости. В том случае, если требование по массо-габаритным показателям не является ключевым, и акцент делается на цену изделия, то вся кажущаяся экономия за счет использования ферритовых ПМ, нивелируется за счет увеличения стоимости используемой в обмотках статора меди и как результат стоимость активных материалов может даже увеличиться до 50%. Мало того, например, для ветрогенераторов стоимость дополнительного конструктива для поддержки более массивной гондолы, содержащий генератор на основе феррита, превышает всю возможную экономию за счет исключения РЗМ ПМ из состава электромашины.

Таким образом, единственной разумным направлением для спецтехники, является применение синхронных электромашин с РЗМ ПМ. Показано, что оптимизация конструкции позволяет существенно снизить потребность в ПМ марки NdFeB в высокооборотных электромашинах различной мощности в диапазоне от 100 кВт до 20 МВт до уровня 35–110 кВт на 1 кг ПМ соответственно. В мире ведут работы направленные на устранение зависимости от источников редкоземельного сырья, снижения стоимости материалов используемых при производстве РЗМ ПМ, а также снижении стоимости производства. Однако не ожидается, что производство подобных постоянных магнитов начнется в ближайшие несколько лет, но вполне возможно в обозримом будущем.

Другим важными направления, на которых сконцентрированы усилия инженеров, конструкторов и ученых является максимально возможное снижение максимальной рабочей температуры электромашины и, таким образом, уменьшение рабочей температуры ПМ и требуемой величины коэрцитивной силы магнита, что равносильно уменьшению процентного содержания диспрозия и снижению цены ПМ.

На рис. 9 представлены кривые размагничивания во 2-м квадранте 4-х основных типов ПМ (слева), а также зависимости для типичной 36 марки NdFeB с максимальной рабочей температурой 175°С. Как видно из рис. 9, зависимость  $B(H)$  для марки NdFeB 45 марки без добавления диспрозия (прямая пунктирная линия на левом рисунке) имеет колено при  $H = 12$  кЭ, что указывает на нестабильность магнита к воздействию размагничивающего поля даже при комнатной температуре. Таким образом, данная марка не может быть использована в СЭПМ. При добавлении 4% диспрозия рабочая температур 36 марки NdFeB повышается и аналогичное колено на зависимостях  $B(H)$  (рис. 9, справа) появляется только при 175°С, что означает данная марка магнита может быть использована в составе СМПМ до данной температуры [23].

На рис. 10 представлен характер изменения положения нагрузочной характеристики и положения рабочей точки магнита  $B_d/H_d$  (точки пересечения нагрузочной линии и кривой  $B(H)$ ) от соотношения длины  $L$  и диаметра  $D$  цилиндрического постоянного магнита 33 марки NdFeB для диапазона температур 25–200°С. Видно, что до температуры 175°С может быть использован только магнит с  $L/D \sim 0.7$  [23, 24], поскольку магниты с большими размагничивающими факторами ( $L/D < 0.7$ ) имеют рабочие точки расположенные близко к колену и не стабильны к размагничиванию в особенности при пиковых мощностях и перегреве СМПМ. Магниты данной марки с большим размагничивающим фактором при  $L/D \sim 0.15$  и



$B_d/H_d = 1.5 \text{ кЭ}/7.9 \text{ кЭ} \sim 0.2$  при  $150^\circ\text{C}$ , могут быть использованы только до  $100^\circ\text{C}$ . Т.е. если рабочая точка выбрана не правильно, то плоские магниты типа  $L/D=0.15$  использованы при  $125^\circ\text{C}$  быть не могут, поскольку нагрузочная линия при  $150^\circ\text{C}$  попадает на колено. И это не связано с плохим качеством магнитов, как мы только что сказали, ПМ данной марки при правильном выборе рабочей точки могут быть использованы и при  $175^\circ\text{C}$ .

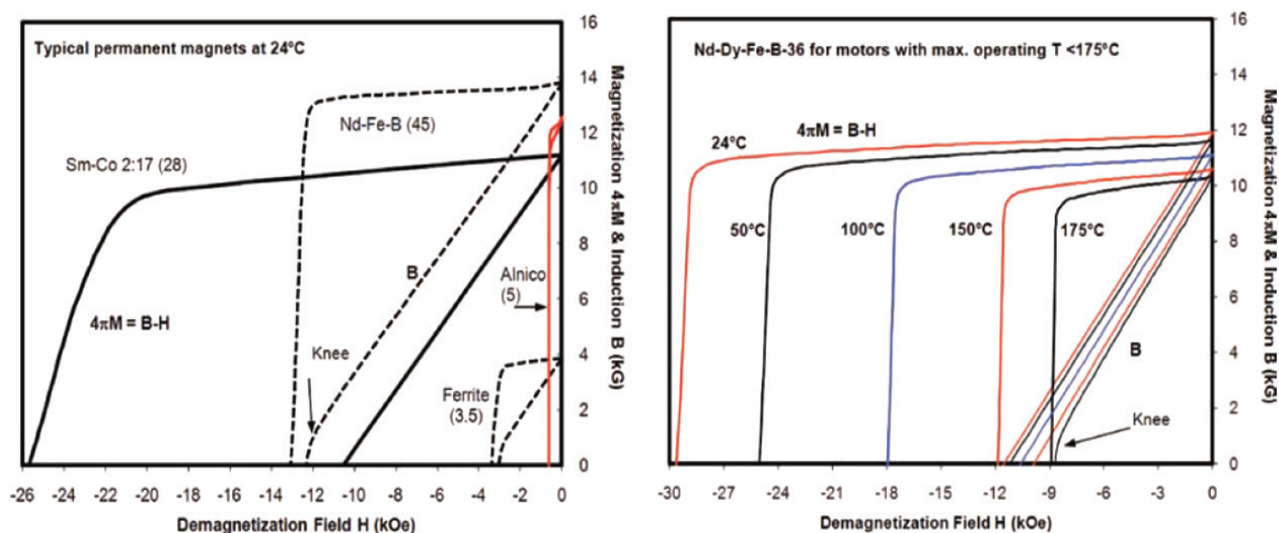


Рис. 9. Кривые размагничивания  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ , NdFeB, альнико 5 и феррита (слева) и для типичного марки постоянных магнитов NdFeB, применяемых в электродвигателях (справа) [23]

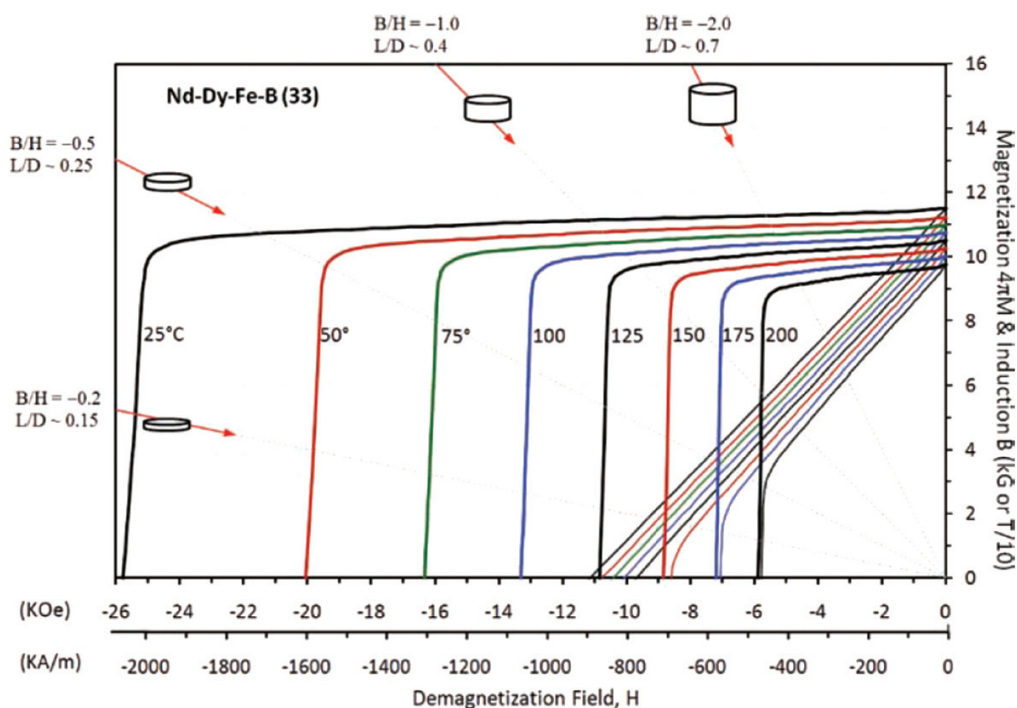


Рис. 10. Зависимость расположения нагрузочной линии от формы магнита NdFeB (соотношение длины L и диаметра D) [23, 24]



Мы решили уделить внимание данному вопросу по следующим причинам. Многие производители СМПМ, предъявляют требование по термостабильности ПМ входящих в состав электроприводов различного назначения, что связано с желанием воспроизведения характеристик изделия после неоднократного нагрева и длительной работе при максимальной рабочей температуре. Однако не нужно путать термины термостабилизации и термостабильности. По мнению многих конструкторов термостабильность достигается за счет термостабилизации ПМ на заводе изготовителе, за счет нагрева и последующей выдержки ПМ в течении 1–2 часов при максимальной рабочей температуре, например, 120° или 175°С.

Необходимо отметить, что это не правильная точка зрения. Однократный или многократный нагрев ПМ до рабочей температуры, например, 120°С должен приводить к незначительным изменениям основных магнитных характеристик термостабилизированного магнита с маленьким размагничивающим фактором. Термостабилизация, как правило, достигается за счет изменения химического состава ПМ и соблюдения технологии его изготовления, например, за счет, как упоминалось выше, добавления диспрозия для увеличения коэрцитивной силы и правильной температурной обработки в процессе изготовления. Наиболее частой причиной нетермостабильности магнита является экономия китайских производителей на дорогом диспрозии. Отсутствие или недостаточное количество дорогостоящего диспрозия в химсоставе ПМ приводит к резкому снижению величины коэрцитивной силы даже при комнатной температуре (рис. 11) и к частичному или полному размагничиванию магнита при нагреве до рабочей температуры, например 120°С. Проверить термостабильность ПМ можно только на образцах с маленьким размагничивающим фактором, при этом размеры образца могут крайне существенно отличаться от геометрических размеров ПМ, используемого в составе изделия. В заводских условиях проверка термостабильности магнита может быть проверена непосредственно в составе изделия или в имитаторе магнитной цепи изделия. При этом, если это возможно, изделие полностью собирается с ПМ «на сухую» без применения клея и выдерживается при рабочей температуре. Потокосцепление определяется до сборки и после разборки изделия после окончания проверки.

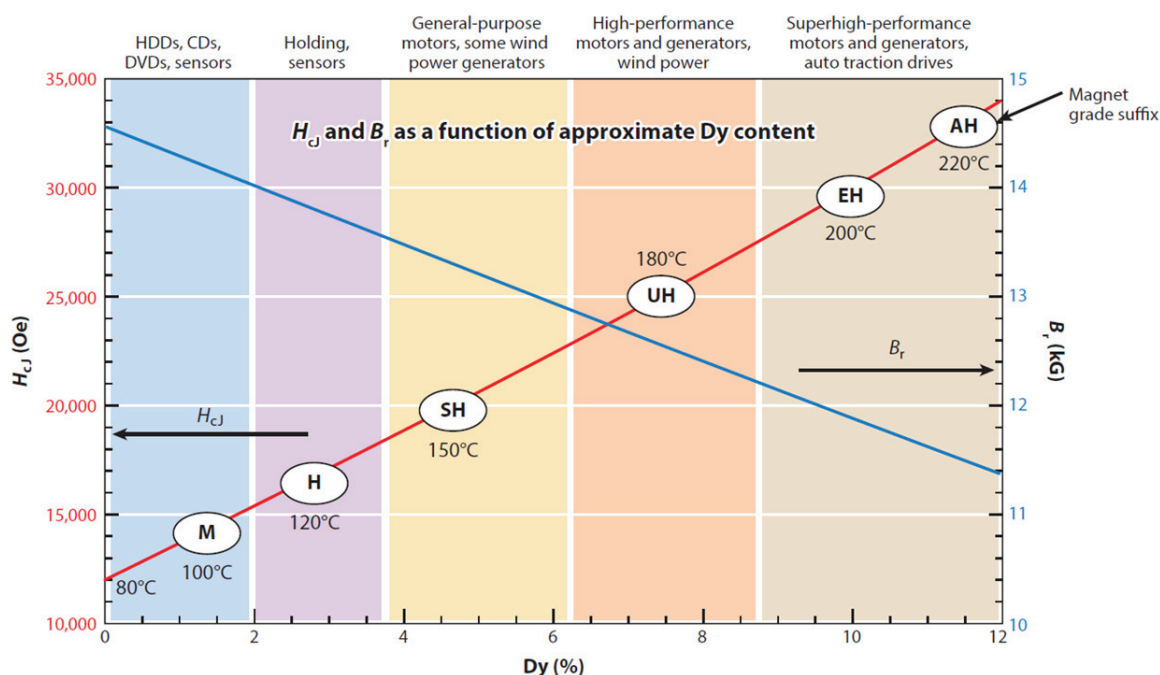
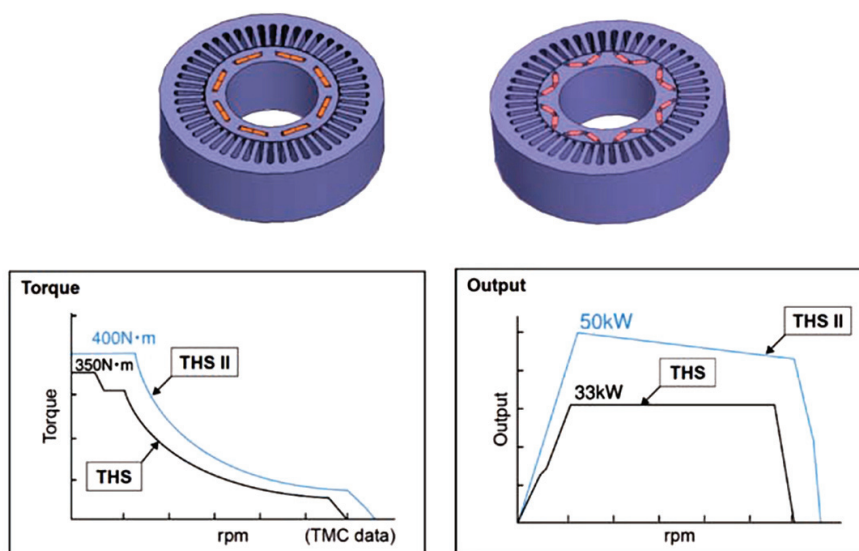


Рис. 11. Зависимость коэрцитивной силы и остаточной индукции от содержания диспрозия в постоянном магните [15]

Заметный вклад в разброс свойств магнитов при нагреве могут давать технологические особенности изготовления, и в частности, вырезание плоского магнита из большого блока при его неравномерной пропрессовке (неоднородной текстуре) и неравномерном промагничивании. Это, в частности, приводит к тому, что требуются особые технологические подходы при изготовлении ПМ при необходимости точного совпадения магнитной и геометрической осей ПМ, используемых в составе центрифуг, в особенности после нагрева до высоких температур.

Необходимо учитывать, что на рабочие характеристики СМПМ влияет не только форма магнита, но и характер расположения ПМ внутри ротора (рис. 12). По данным компании Toyota, V-образное расположение магнитов приводит к увеличению момента на 15% (с 350 до 400 Нм, рис. 12, слева) и мощности в 1.5 раза (от 33 до 50 кВт, рис. 12, справа). По опыту авторов работы, V-образное магнитов расположение также повышает управляемость СМПМ.



**Рис. 12. Характер зависимости крутящего момента (слева) и мощности (справа) от характера расположения магнитов в роторе в мотор-генераторе Prius по данным компании Toyota**

TMS – плоский вариант слева сверху. TMS II-V образный вариант справа сверху [24]

Как видно из рис. 13, развитие ПМ за последние годы привело к снижению объема магнитов требуемых для создания магнитного поля 1 кЭ на расстоянии 5 мм в 65 раз.

В настоящее время усилия ученых направлены на увеличение величины максимального энергетического произведения ПМ, которое может быть использовано при работе СМПМ. Результаты численного моделирования предсказывают появление ПМ с максимальным энергетическим произведением 72 МГсЭ (напомним что, в настоящее время для использования в СЭПМ доступны только высокотемпературные марки ПМ с  $(BH)_{max}$  до 42 МГсЭ).

На основе данных работы [25] можно ожидать, что NdFeB магниты с максимальным энергетическим произведением  $(BH)_{max}$  на уровне 58 МГсЭ будут доступны промышленности к 2027 г. (рис. 14). К 2042 г. ПМ марки NdFeB, вероятно, выберут свой полный потенциал 64 МГОе. При этом верхняя граница  $B_r$  около 1,65 Т, достигнутая к 2042 г. будет на 10 процентов выше, чем для магнитов, доступных сегодня. Это приведет к существенному увеличению (до 50%) как крутящего момента, так и мощности СЭПМ.

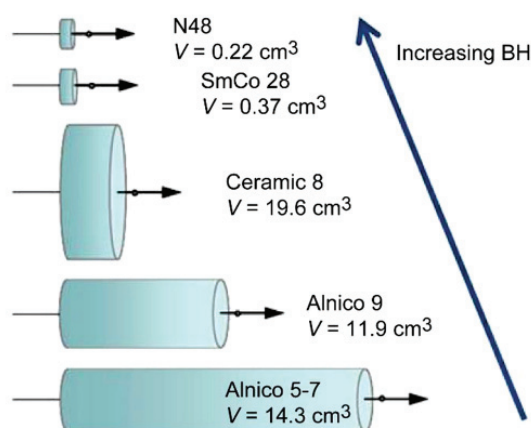


Рис. 13. Относительный размер и форма ПМ, которые могут создать магнитное поле 1кЭ на расстоянии 5 мм от поверхности полюса [5]

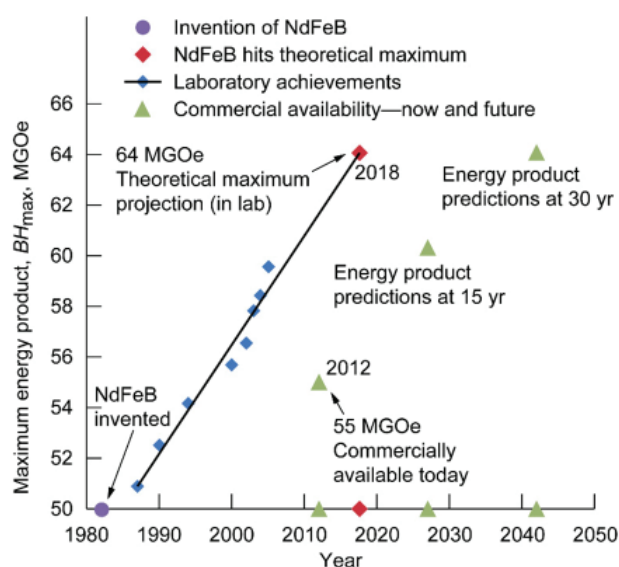


Рис. 14. История и прогноз развития ПМ марки NdFeB [25]

Таким образом, Российская наука имеет долгосрочный задел в исследовании редкоземельных ПМ [11, 13, 26]. Проведенные автором с коллегами работы по созданию действующих макетов и прототипов показали, что существующая актуальнейшая задача создания отечественной элементной базы синхронных электроприводов на основе редкоземельных постоянных магнитов для спецтехники, 4-х и 8-ми-осных колесных платформ, силовых роботов и робототехнических комплексов, с технической точки зрения, может быть успешно решена. Формирование в России собственной элементной базы в области силового электропривода открывает новые возможности в области проектирования для КБ и проектных организаций по созданию новых типов изделий включая шагающих роботов или аватаров.

*Благодарности:* Автор благодарен техническому директору ООО «Полимагнит» канд.техн. наук М.М. Надееву за полезные советы и обсуждения материалов данной работы.

### Список литературы

1. Михайлов Ю.М. Специализированный юбилейный выпуск сборника «Федеральный справочник. Оборонно-промышленный комплекс России», 2014, Том 10.
2. Available at: <http://eurasian-defence.ru/sites/default/files/doc/rz2us.pdf>.
3. Davey K.R., Ship component optimization. Submitted to Marine Technology Society Journal, August 31, 2004, 16 p. (CEM Publications, 2015).
4. Patentschrift «Schiffsschraubenantrieb», No. 147927, ausgegeben 19.1.1904, patentiert ab 4.4.1903, Berlin. Koehler H.W., Oehlers W. 95 years of diesel-electric propulsion: a modern solution to a modern propulsion system. 2th International Diesel electric propulsion, 26–29 April 1998, Helsinki, Finland, 1998, pp. 1–24.
5. Shaw S., Constantinides S. Permanent Magnets: the Demand for Rare Earths, Presentation at 8th International Rare Earths Conference, Hong Kong, November 2012.
6. Constantinides S. The Elements of Magnetism, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., vol. 1492, pp. 35–46.
7. Kim Y., Kim Y.Y. A novel Terfenol-D transducer for guided-wave inspection of a rotating shaft. Sensors and Actuators A, 2007, vol. 133, pp. 447–456.
8. Sheno A. et al. Smart Materials in the Marine Environment. A State of the Art Review, 2009, SMART, 49 p.
9. Available at: [http://borets.ru/files/listovki/pcp\\_pmm1.pdf](http://borets.ru/files/listovki/pcp_pmm1.pdf).
10. Icnirp guidelines. On limits of exposure to static magnetic fields. Published in: Health Physics 96(4), pp. 504–514, 2009.
11. Лилеев А.С., Надеев М.М., Тишин А.М. Магнитотвердые материалы, Большая российская энциклопедия, 2011, т. 18, ISBN 978-5-85270-351-4, с. 403.
12. Available at: <http://www.amtc.ru/production/magnet>.
13. Kuz'min M.D., Tishin A.M. Theory of crystal-field effects in 3d-4f intermetallic compounds, Handbook of Magnetic Materials, 2008, vol. 17, ch. 3, Elsevier Science BV.
14. Available at: <http://www.magnetismmagazine.com/main/articles/what-the-heck-happened-to-the-magnet-industry/#more-8677>. Available at: <https://roskill.com/product/rare-earths-market-outlook-to-2020-15th-edition-2015>.
15. McCallum R.W., Lewis L.H., Skomski R., Kramer M.J., Anderson I.E. Practical Aspects of Modern and Future Permanent Magnets, Annu. Rev. Mater. Res. 2014, vol. 44, pp. 451–77.
16. Available at: <http://rostec.ru/news/1738>.
17. Available at: [http://report2014.acron.ru/acron/annual/2014/gb/Russian/pdf/Chapter1\\_rus.pdf](http://report2014.acron.ru/acron/annual/2014/gb/Russian/pdf/Chapter1_rus.pdf).
18. Strnatv K.J., Rare Earth-Cobalt Permanent Magnets, (Ferromagnetic Materials, vol. 4, E.P. Wohlfarth and K.H.J. Buschow, ed., Elsevier Science Publishers B.V., 1988), p. 184.
19. Kuz'min M.D., Skokov K.P., Jian H., Radulov I., Gutfleisch O. Towards high-performance permanent magnets without rare earths. J. Phys.: Condens. Matter 26 (2014) 064205 (5pp) doi:10.1088/0953-8984/26/6/064205.
20. Pathak A.K., Khan M., Gschneidner Jr. K.A., McCallum R.W., Zhou L., Sun K., Dennis K.W., Zhou C., Pinkerton F.E., Kramer M.J., Pecharsky V.K. Cerium: An Unlikely Replacement of Dysprosium in High Performance Nd–Fe–B Permanent Magnets. Adv. Mater. 2015, vol.27, pp. 2663–2667.
21. Надеев М.М., Менушенков В.П., Савченко А.Г. Композиция для получения спеченного постоянного магнита, спеченный постоянный магнит и способ его получения, Евразийский патент № 014583, Дата выдачи: 30 декабря 2010 г.
22. Walmer M.S., Chen C.H., Walmer M.H., IEEE Trans. Magn., 2000, vol. 36, p.3376.
23. Chen C.H. Engineering magnetic materials and their applications, Course MAT-512, University of Dayton, 2006–2010.
24. Gutfleisch O., Willard M.A., Brück E., Chen C.H., Sankar S.G., Liu J.P. Magnetic Materials and Devices for the 21st Century: Stronger, Lighter, and More Energy Efficient Adv. Mater. 2011, vol. 23, pp. 821–842.

25. Dever T.P. et al. Assessment of Technologies for Noncryogenic Hybrid Electric Propulsion. NASA/TP—2015-216588, 2015, 46 p.

26. Дерягин А.В. Редкоземельные магнитомягкие материалы, УФН, 1976, т. 120, вып. 3, с. 393—438.

## References

1. Mikhailov Y.M. (2014) *Spetsializirovanny yubileyny vypusk sbornika «Federal'nyy spravochnik. Oboronno-promyshlennyy kompleks Rossii»* [Specialized anniversary issue of the collection «The Federal Directory: The Defence Industrial Complex of Russia»], vol. 10.

2. Available at: <http://eurasian-defence.ru/sites/default/files/doc/rz2us.pdf>.

3. Davey K.R. (2015) Ship component optimization. Submitted to Marine Technology Society Journal, August 31, 2004, 16 p. (CEM Publications, 2015).

4. Patentschrift «Schiffsschraubenantrieb», No. 147927, ausgegeben 19.1.1904, patent. 4.4.1903, Berlin. Koehler H.W., Oehlers W. 95 years of diesel-electric propulsion: a modern propulsion system. 2th International Diesel electric propulsion, 26–29 April 1998, Helsinki, Finland, 1998, pp. 1–24.

5. Shaw S., Constantinides S. (2012) Permanent Magnets: the Demand for Rare Earths, Presentation at 8th International Rare Earths Conference, Hong Kong, November.

6. Constantinides S. The Elements of Magnetism, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., vol. 1492, pp. 35–46.

7. Kim Y., Kim Y.Y. (2007) A novel Terfenol-D transducer for guided-wave inspection of a rotating shaft. Sensors and Actuators A, vol. 133, pp. 447–456.

8. Sheno A. et al. (2009) Smart Materials in the Marine Environment. A State of the Art Review, SMART, 49 p.

9. Available at: [http://borets.ru/files/listovki/pcp\\_pmm1.pdf](http://borets.ru/files/listovki/pcp_pmm1.pdf).

10. Icnirp guidelines. On limits of exposure to static magnetic fields. (2009) Published in: Health Physics 96(4), pp. 504–514.

11. Lileev A.S., Nadeev M.M., Tishin A.M. (2011) *Magnitotverdye materialy, Bol'shaya rossiyskaya entsiklopediya* [Hard magnetic materials. The Great Russian Encyclopedia], vol. 18, ISBN 978-5-85270-351-4, p. 403.

12. Available at: <http://www.amtc.ru/production/magnit>.

13. Kuz'min M.D., Tishin A.M. (2008) Theory of crystal-field effects in 3d-4f intermetallic compounds, Handbook of Magnetic Materials, vol. 17, ch. 3, Elsevier Science BV.

14. Available at: <http://www.magnetismmagazine.com/main/articles/what-the-heck-happened-to-the-magnet-industry/#more-8677>. Available at: <https://roskill.com/product/rare-earths-market-outlook-to-2020-15th-edition-2015>.

15. McCallum R.W., Lewis L.H., Skomski R., Kramer M.J., Anderson I.E. (2014) Practical Aspects of Modern and Future Permanent Magnets, Annu. Rev. Mater. Res., vol. 44, pp. 451–77.

16. Available at: <http://rostec.ru/news/1738>.

17. Available at: [http://report2014.acron.ru/acron/annual/2014/gb/Russian/pdf/Chapter1\\_rus.pdf](http://report2014.acron.ru/acron/annual/2014/gb/Russian/pdf/Chapter1_rus.pdf).

18. Strnatv K.J. (1988) Rare Earth-Cobalt Permanent Magnets. Ferromagnetic Materials, Ed. E.P. Wohlfarth and K.H.J. Buschow, Elsevier Science Publishers B.V., vol. 4, p. 184.

19. Kuz'min M.D., Skokov K.P., Jian H., Radulov I., Gutfleisch O. (2014) Towards high-performance permanent magnets without rare earths. J. Phys.: Condens. Matter 26 064205 (5pp) doi:10.1088/0953-8984/26/6/064205.

20. Pathak A.K., Khan M., Gschneidner Jr. K.A., McCallum R.W., Zhou L., Sun K., Dennis K.W., Zhou C., Pinkerton F.E., Kramer M.J., Pecharsky V.K. (2015) Cerium: An Unlikely Replacement of Dysprosium in High Performance Nd–Fe–B Permanent Magnets. Adv. Mater., vol. 27, pp. 2663–2667.

21. Nadeev M.M., Menushenkov V.P., Savchenko A.G. (2010) *Kompozitsiya dlya polucheniya spechennogo postoyannogo magnita, spechenny postoyanny magnit i sposob ego polucheniya, Evraziyskiy patent No. 014583* [Composition for the production of sintered permanent magnet, sintered permanent magnet and method for its production, Eurasian patent No. 014583, Issue date: December 30].



22. Walmer M.S., Chen C.H., Walmer M.H. (2000) IEEE Trans. Magn., vol. 36, p. 3376.
23. Chen C.H. (2006–2010) Engineering magnetic materials and their applications, Course MAT-512, University of Dayton.
24. Gutfleisch O., Willard M.A., Brück E, Chen C.H., Sankar S.G., Liu J.P. (2011) Magnetic Materials and Devices for the 21st Century: Stronger, Lighter, and More Energy Efficient Adv. Mater. 2011, vol. 23, pp. 821–842.
25. Dever T.P. et al. (2015) Assessment of Technologies for Noncryogenic Hybrid Electric Propulsion. NASA-TP—2015-216588, 46 p.
26. Deryagin A.V. (1976) Redkozemel'nye magnitozhestkie materialy [Rare-earth hard magnetic materials], UFN [Advances in Physical Sciences], vol. 120, issue 3, pp. 393–438.

## ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЙСТВИЙ ВОЕННО-МОРСКИХ СИЛ

**И.М. Комаров**, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [komarovim@extech.ru](mailto:komarovim@extech.ru)

**К.В. Епишин**, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, доц., [epishin@extech.ru](mailto:epishin@extech.ru)

**Д.В. Зернюков**, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [d255@yandex.ru](mailto:d255@yandex.ru)

**Д.Б. Изюмов**, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [izyumov@extech.ru](mailto:izyumov@extech.ru)

**Е.Л. Кондратюк**, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, [kel@extech.ru](mailto:kel@extech.ru)

*В статье рассмотрен опыт ведущих зарубежных стран по созданию систем управления беспилотными летательными аппаратами, предназначенных для решения задач обеспечения действий военно-морских сил.*

**Ключевые слова:** автономный роботизированный комплекс, беспилотный летательный аппарат, Военно-морские силы США (ВМС США), воздушно-морские операции, перечень критических военных технологий (США).

## FOREIGN EXPERIENCE IN THE CREATION OF CONTROL SYSTEMS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES, DESIGNED TO SOLVE THE TASKS OF ENSURING THE ACTIONS OF THE NAVAL FORCES

**I.M. Komarov**, Director of Centre, SRI FRCEC, [komarovim@extech.ru](mailto:komarovim@extech.ru)

**K.V. Epishin**, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, Associate Professor, [epishin@extech.ru](mailto:epishin@extech.ru)

**D.V. Zernykov**, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, [d255@yandex.ru](mailto:d255@yandex.ru)

**D.B. Izumov**, Head of Department, SRI FRCEC, [izyumov@extech.ru](mailto:izyumov@extech.ru)

**E.L. Kondratyuk**, Senior Researcher, SRI FRCEC, [kel@extech.ru](mailto:kel@extech.ru)

*The article describes the experience of foreign countries in creation of control systems of unmanned aerial vehicles intended for solving problems operations of the naval forces.*

**Keywords:** Autonomous robotic complex, Unmanned Aerial Vehicle, United States Navy (USN), Air-Sea Battle, Militarily critical technologies list (MCTL).

### Список сокращений

- АРТС — автономные роботизированные транспортные средства;  
БАС — беспилотная авиационная система;  
БЛА — беспилотный летательный аппарат;  
БЛАЗ — беспилотный самолет-заправщик;  
ВЗС — ведущие зарубежные страны;  
КМП — корпус морской пехоты;  
ЛА — летательный аппарат;  
РЛС — радиолокационная станция;  
ФАР — фазированная антенная решетка;  
MCASB — NATO Military Committee Air Standartisation Board (Управление стандартизации воздушных средств военного комитета НАТО);  
UAV — Unmanned Aerial Vehicle (беспилотный летательный аппарат);  
UCAV — Unmanned Combat Aerial Vehicle (боевой беспилотный летательный аппарат);  
UAS — Unmanned Aircraft System (беспилотная авиационная система).

## **Введение**

Мировой опыт развития наиболее массового варианта автоматизированных роботизированных транспортных средств (АРТС) — беспилотных летательных аппаратов (БЛА) — свидетельствует, что уже через полтора-два десятилетия они смогут выполнять абсолютное большинство задач, решаемых сегодня пилотируемой авиацией, за исключением некоторых специфических функций.

Политика ведущих зарубежных стран (ВЗС) в сфере разработок и производства робототехнических средств опирается на различные программы, которые подробно рассмотрены в [1].

БЛА рассматриваются военным руководством ВЗС в качестве одного из важнейших средств повышения боевых возможностей вооруженных сил. По мнению военных специалистов стран НАТО боевое применение БЛА предпочтительно при выполнении задач, характеризующихся большой продолжительностью полета, повышенной сложностью.

Включение боевой беспилотной авиационной системы (БАС) в состав корабельных авиакрыльев позволит перевести авианосец из ударной системы, характеризующейся глобальной мобильностью, но слишком малым радиусом досягаемости (малый радиус действия пилотируемых палубных летательных аппаратов (ЛА)), в полноценную глобальную разведывательно-ударную систему большой дальности действия.

По мнению военных экспертов ВЗС, именно боеспособная БАС авианосного базирования позволит сохранить важную роль авианосцев во внешней политике и военных операциях США [2].

БЛА — это ЛА, выполняющий полет без пилота (экипажа) на борту и управляемый в полете автоматически, оператором с пункта управления или сочетанием указанных способов [3].

Согласно определению Управления стандартизации воздушных средств военного комитета НАТО (NATO Military Committee Air Standardisation Board — MCASB) БЛА, он же UAV (Unmanned aerial vehicle) — это ЛА тяжелее воздуха, оснащенный двигательной установкой, управляемый автономно, или с помощью сигналов наземной системы управления. БЛА подразделяются на системы однократного применения или многократного использования, могут быть оснащены самым разным оборудованием и вооружением.

Исходя из определения [3] задача управления БЛА прямо или опосредованно (через программный модуль) осуществляется оператором. Задача оператора при телекомандном режиме управления БЛА заключается в обеспечении и поддержании необходимых параметров полета, например по типу вырабатываемых при использовании аэродромных курсо-глиссадных систем.

Значительная часть трудностей при выполнении взлетов/посадок объясняется интуитивными реакциями оператора, который не находится на борту ЛА и поэтому не может для ориентации использовать периферическое (боковое) зрение. Ему приходится, находясь вне аппарата, интерпретировать показания приборов только виртуально, не ощущая напрямую работающие двигатели, скорость полета и действующие перегрузки.

## **Некоторые проблемы управления БЛА при решении боевых задач в локальном конфликте**

При использовании БЛА в современных локальных конфликтах боевое управление (наведение на цель, выполнение разведывательных функций и т.п.) осуществляется, как правило, с авиабаз ВВС, находящихся на континентальной части США (Крич — шт. Невада, Холломан — шт. Нью-Мексико и проч.) на расстоянии более 11 000 км от места боевого применения.

Персонал передовых пунктов управления, непосредственно находящийся вблизи зоны боевого соприкосновения (операторы, наземные экипажи), управляют БЛА в дистанционном режиме на конечных этапах полета (взлет, посадка), после того как операторы наведения БЛА с авиабаз континентальной части США завершают этапы видеонаблюдения и/или атаки целей.

Посадки БЛА должны выполнять именно операторы (наземные экипажи), так как из-за больших задержек сигналов дистанционного управления БЛА с континентальной части США становится практически невозможным.

Основной субъективной причиной происшествий в воздухе является полет БЛА с очень большим креном, приводящим к потере линии связи по спутниковому каналу. Более того, из-за задержек при передаче сигнала на дальностях более 11 000 км операторы на передовых районах развертывания вынуждены переходить на управление взлетом/посадкой, используя линии передачи данных в пределах прямой видимости.

Что касается использования системы автоматического управления (САУ), то возможности ее использования ограничены. Эффективность использования САУ на борту БЛА возрастает, с увеличением массы и скоростных характеристик БЛА, то есть может быть установлена только на БЛА определенных классов.

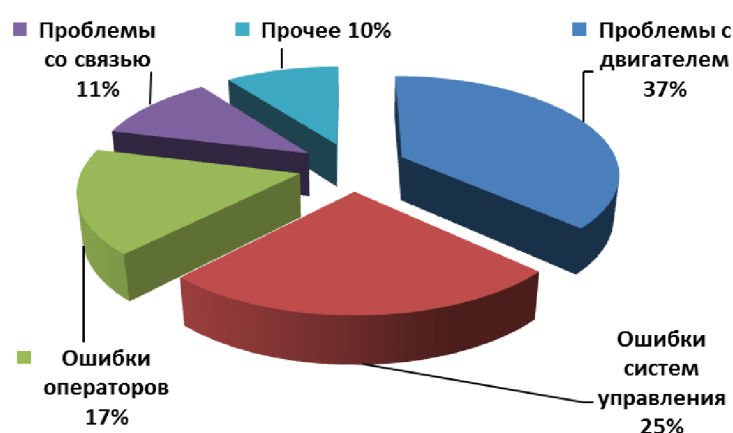


Рис. 1. Распределение небоевых потерь БЛА по данным МО США

Основные причины небоевых потерь БЛА по данным МО США представлены на рис. 1.

#### Материалы по долгосрочному планированию в области развития беспилотных авиационных комплексов ВЗС

В области долгосрочного планирования наиболее последовательный подход в настоящее время сформирован в США. Другие страны также имеют программы разработки и внедрения беспилотных систем (Великобритания, Франция и Израиль), однако все они носят частичный характер и определяют узкий перечень задач (например, охрана границы, как в Израиле).

Так, на первом этапе (2001–2006 гг.) каждый вид ВС США сформулировал свои взгляды на перспективы использования БАС для решения видовых задач.

На втором этапе (2007–2010 гг.) были составлены две межвидовые интегрированные дорожные карты (DoD Unmanned Systems Integrated Roadmap, FY 2007–2032 и FY 2009–2034).

На третьем, текущем этапе (с 2011 года) опыт составления и исполнения документов по планированию в области развития АРТС был обобщен в новой Интегрированной дорожной карте, рассчитанной на период до 2036 г.

В целом, по мнению американских специалистов, интегрированные дорожные карты послужили мощным толчком для упорядочивания внедрения БАС, связав воедино организационные, технико-технологические аспекты, выявив управленческие проблемы, а также сформулировав области приоритетного инвестирования.

Основные документы долгосрочного планирования в области развития:

**Единые документы**

- DoD Unmanned Systems Integrated Roadmap, FY 2007-2032, 2007 — 1 этап.
- DoD Unmanned Systems Integrated Roadmap, FY 2009-2034, 2008 — 2 этап.
- DoD Unmanned Systems Integrated Roadmap, FY 2011-2036, 2011 — 3 этап.

**Корпус морской пехоты (КМП)**

- U.S. Marine Corps Concept of Operations for USMC Unmanned Aircraft Systems Family of Systems, November 2009.

**ВВС**

- U.S. Air Force Unmanned Aircraft Systems Flight Plan, 2009-2047, 18 May 2009.
- U.S. Air Force Chief Scientist Report on Technology Horizons: A Vision for Air Force Science and Technology during 2010-2030, 15 May 2010.

**ВМС**

- U.S. Navy Information Dominance Roadmap for Unmanned Systems, December 2010.
- Navy Unmanned Undersea Vehicle Master Plan. November 9, 2004.

В том числе программы развития БЛА при финансовой поддержке ВМС США:

- UCAS-D (Unmanned Combat System Carrier Demonstration) — беспилотная демонстрационная разведывательная система;
- UCLASS (Unmanned Carrier-Launched Airborne Surveillance and Strike) — беспилотная разведывательно-ударная авиационная система корабельного базирования;
- CBARS (Carrier-Based Aerial-Refueling System) — программа перспективного палубного беспилотного самолета-заправщика (БЛАЗ).

**Регламентация построения систем управления БЛА в НАТО**

Управление БЛА требует специальных стандартов, построения архитектуры и организации особых процедур, которые в том числе будут способствовать эффективной интеграции беспилотных систем. Сегодня беспилотными наземными и морскими системами используется стандарт единой архитектуры беспилотных устройств военного назначения JAUS (Joint Architecture for Unmanned Systems), который включает следующие блоки:

1) Domain Model — задает базовую терминологию и формализует три сферы JAUS:

- функциональные агенты (например, устройство — водитель);
- базы знаний (хранилища информации, в частности, о маршруте движения);
- бортовая полезная нагрузка (всевозможная аппаратура, предназначенная для выполнения конкретных прикладных задач).

2) Reference Architecture — определяет технические спецификации и реализацию Domain Model, содержит описание сообщений и команд JAUS.

Контур управления одним или несколькими БЛА следующие:

- первый контур (основной) управления — пилотажный;
- второй контур — навигационный (маршруты, облет препятствий, времени нанесения удара по цели, прибытие в назначенную точку);
- третий контур — разведка, наблюдение и предварительная рекогносцировка;
- четвертый контур — контроль исправности и оценки состояния систем.

Если несколько операторов должны взаимодействовать в контуре управления наведением и перемещением (то есть управлять полетом БЛА вручную), то издержки, связанные с человеческим фактором, могут быть значительными из-за потребности в больших когнитивных ресурсах.

Стандарты по системам управления БЛА:

1) STANAG 4609/AEDP-8. NATO Digital Motion Imagery Format — [www.nato.int/structur/AC/224/standard/4609/4609.htm](http://www.nato.int/structur/AC/224/standard/4609/4609.htm). Сформулированы основные требования по скорости передачи данных от бортовых сенсоров БЛА.



2) STANAG 7023/AEDP-9. NATO Primary Image Format – [www.nato.int/structur/AC/224/standard/7023/7023.htm](http://www.nato.int/structur/AC/224/standard/7023/7023.htm). В стандарте и руководстве AEDP-9 регламентирован формат передачи потоков данных с борта БЛА.

3) STANAG 4607/AEDP-7. NATO Ground Moving Target Indicator Format. (GMTIF) – [www.nato.int/structur/AC/224/standard/4607/4607.htm](http://www.nato.int/structur/AC/224/standard/4607/4607.htm).

В стандарте и руководстве AEDP-7 определены содержание и формат данных, получаемых с радаров обнаружения движущихся целей на фоне земной поверхности (GMTI – Ground Moving Target Indicator).

4) STANAG 7085. Interoperable Data Links for Imaging Systems. Закрытый стандарт с требованиями к радиолиниям связи с БЛА, совместимым с тактическими средствами Common Data Link (CDL)/Tactical Common Data Link (TCDL).

5) STANAG 4660. Регламентирует все аспекты высокосоциального канала обмена данными для БЛА IC2 DL (Interoperable Command and Control Data Link). Этот канал описывает передачу на землю (downlink) оперативных данных (телеметрии), а на борт (uplink) – команд управления платформой и оборудованием.

6) Стандарт STANAG 4586. Ключевой документ для стран НАТО в обеспечении совместности БЛА и наземных пунктов управления (Ground Control Station). Огромный положительный эффект от внедрения этого стандарта – отсутствие необходимости разрабатывать отдельные пункты управления для каждого типа БЛА. Задача решается, в том числе, введением в комплект аппаратуры наземной станции специального модуля поддержки конкретного типа ЛА (VSM – Vehicle Specific Module).

Пять уровней интероперабельности для систем БЛА, соответствующих стандарту:

- Уровень 1: не прямой прием/передача данных о полезной нагрузке БЛА.
- Уровень 2: прямой прием разведывательных/других данных, где понятие «прямой» означает прием данных о полезной нагрузке БЛА системой его управления, когда имеется прямая связь с БЛА.
- Уровень 3: управление полезной нагрузкой БЛА и ее контроль в дополнение к прямому приему разведывательных и других данных.
- Уровень 4: управление и контроль БЛА, кроме режимов взлета и посадки (запуска и возвращения на землю).
- Уровень 5: управление и контроль БЛА на уровне 4 плюс функции запуска и возвращения на землю.

### **Наземные станции управления БЛА**

Новый подход МО США к наземным станциям управления БЛА (Ground Control Stations – GCS) – получить унифицированную станцию, которая управляла бы различными типами БЛА, с возможностью программного встраиваемого расширения под любой тип БЛА. Открытая архитектура позволяет не тратить на новую наземную станцию всякий раз для нового разрабатываемого БЛА.

С развитием концепции использования БЛА, объединенных в «интеллектуальную» группу в форме сетевой распределенной структуры, потребуется переход на новые принципы и технологии руководства боевыми операциями с обеспечением эффективного взаимодействия непосредственных исполнителей – сетевых БЛА с возможностью единовременного управления многими БЛА и их бортовыми датчиками даже одним оператором наземной станции GCS.

В соответствии с концепцией траектория полета БЛА контролируется виртуальным пилотом в форме перспективного программного обеспечения, такого, чтобы позволить единственному оператору осуществлять управление 12 БЛА и более 30 наземными датчиками.

Для увеличения эффективности и снижения загрузки оператора при работе с многими БЛА лаборатория AFRL ВВС США предлагает, например, перспективные технологии интерфейса «оператор – БЛА»:

- нашьлемный индикатор;
- синтезированная система визуализации;
- речевое управление;
- тактильная обратная связь при работе с ручкой управления «джойстик»;
- тактильные манжеты на запястье.



**Рис. 2. Критические военные технологии Министерства обороны США за 2014 г.**

#### **Критические военные технологии МО США по разработке и созданию БЛА различного назначения**

С точки зрения концептуального подхода к перспективной системе управления БЛА определены три основных направления для снятия критичности в применяемых технологиях и параметрах работы БЛА:

1) Для помехоустойчивой системы загоризонтного управления БЛА критическим параметром является наличие надежных закрытых каналов связи наземных, воздушных и спутниковых ретрансляторов и связанных с ними алгоритмов шифрования и дешифрования команд управления и передачи данных. Наиболее надежным и эффективным считается способ ретрансляция через спутниковые ретрансляторы и узлы космической связи.

2) Достижение критичных параметров навигационных систем перспективных БЛА:

– унифицированные навигационные комплексы на гироскопах (кольцевых лазерных, оптоволоконных и т.п.), работающие в комплексе с помехозащищенной космической радионавигационной системой;

– модули высокоточной навигации и модули пассивной навигации (высотомеры с точностью не хуже  $\pm 5\%$ , на любой высоте и скорости БЛА более 150 м/сек. и т.д.

3) Программное обеспечение управления полетом для автономных БЛА:

– облет БЛА наземных препятствий;  
– уклонение на траектории полета от возможного огневого и радиоэлектронного противодействия;

– сохранение или изменение запрограммированных профилей полета при оперативном изменении боевой задачи;

– управления дозаправкой в воздухе на высотах более 15 000 м и с длительностью полета не менее 30 часов без дозаправки.

Если обобщить информацию о разработке нового программного обеспечения контура управления БЛА, то можно сделать вывод, что в США планируется реализовать принцип ситуационного управления. Реализация такого принципа требует решения следующих задач:

– сокращение времени отклика системы управления БЛА на изменение маршрута, плана и цели полета для решения поставленной боевой задачи без возвращения на аэродром базирования;

– создание автоматизированной системы оценки решения боевой задачи и определения достижимости поставленных целей;

– создание автоматизированной системы классификации фоновой-целевой обстановки: учета погодных условий, помеховой-целевой обстановки, наличия угроз от средств поражения и радиоэлектронного противодействия, условий местности и наличия препятствий.

Необходимым условием применения программного обеспечения БЛА и алгоритмов его управлением является их оперативное и гибкое изменение в режиме удаленного доступа (он-лайн). Время от времени оператор БЛА будет решать высокоуровневые задачи, такие как поиск целей для разведки или атаки, анализ и корреляцию полученных данных.

### **Критические разработки в области систем управления БЛА**

К неперенным условиям развития систем визуального и радиолокационного обеспечения автономного и полуавтономного управления БЛА, с учетом критичности тех или иных технологий, следует отнести разработку:

1) Оптико-электронных, сверхпроводящих, магнитных и нано-материалов и устройств для обнаружения оптического излучения в диапазоне от ИК- до УФ-области, а также новых нелинейных оптических материалов.

2) Оптических локационных систем с режимом двумерного или трехмерного сканирования, распознаванием образов и выделения признаков целей для наведения БЛА в выбранную точку пространства для разведки целей (возможность по распознаванию из произвольных точек зрения с точностью менее 1,0 м).

3) Лазерных систем целеуказания.

4) Радиолокационных систем поиска, обнаружения и распознавания целей миллиметрового диапазона. Критическими технологиями для создания таких систем являются:

– технологии нитрид галлиевых соединений, обладающих превосходной производительностью в условиях высоких температур;

– разработка моделей, характеризующих устойчивость параметров радиолокационных подсистем во всем диапазоне рабочих температур.

5) Бортовых средств разведки БЛА с возможностью достоверной классификации и распознавания целей в условиях сложной целевой и помеховой обстановки в пределах 10 и более целей в поле зрения датчиков оптического и радиолокационного диапазонов.

6) Элементов малогабаритного многофункционального приемника и компонентов фазированной антенной решетки (ФАР) для радиолокационной станции (РЛС), средств разведки и РЭБ на основе арсенида галлия, фосфида индия и кремния на изоляционной подложке. Ведутся разработки по созданию передатчиков с непосредственным цифровым форми-

рованием зондирующего сигнала и микроволновых технологий перспективных твердотельных передатчиков, радиочастотных антенн с обычной апертурой и ФАР для РЛС и средств разведки.

7) Датчиков радиолокационного диапазона с применением новых компоновочных и интеграционных технологий. Ключевыми являются разработки технологий трехмерной разводки и монтажа для трехмерных постоянных запоминающих устройств и единых многокристалльных модулей для создания устройств микро-электромеханических систем. В рамках разработок ведутся исследования концепций многомерных многофункциональных датчиков, алгоритмов выделения и обработки когерентного трехмерного изображения и систем многодатчикового синтеза изображения целей, построенной на базе многоспектральной оптико-электронной системы и станций радиотехнической разведки.

8) Активных конформных фазированных антенн для БЛА с адаптивным управлением.

### **Программы развития БЛА при финансовой поддержке ВМС США**

*UCAS-D (Unmanned Combat Air System demonstrator)* – беспилотная авиационная боевая система-демонстратор

В рамках программы UCAS-D «Нортроп Грумман» разрабатывала два варианта корабельного БЛА – X-47A «Пегас» и X-47B и провела успешные испытания.

БПЛА X-47A был выполнен по схеме «бесхвостка» и имел интегральную аэродинамическую компоновку с треугольным крылом малого удлинения, вертикальное оперение отсутствовало (рис. 3).

Проект X-47B имел принципиально иной внешний облик в сравнении с аппаратом X-47A. Увеличенная в размерах ромбовидная форма корпуса беспилотника была дополнена концевыми консолями крыла, что обеспечивало улучшение аэродинамических качеств (рис. 4).



**Рис. 3. X-47A «Пегас»**



**Рис. 4. X-47B в момент дозаправки в воздухе и в момент отрыва от палубы авианосца**

Иллюстрация динамики проведения испытаний демонстратора (опытного образца) X-47B показывает серьезное отношение к приемке результатов НИОКР в США:

- 04.05.2013 совершил первую посадку на аэрофинишер на специальном тренажере полностью в автоматическом режиме;
- 14.05.2013 – первый катапультный взлет с палубы авианосца;
- 17.05.2013 – заход на посадку АВМА «Джордж Г.У. Буш», касание палубы и уход на взлет – без посадки на аэрофинишер;
- 10.06.2013 – взлет с авиабазы и полноценная посадка на аэрофинишер авианосца «Джордж Г.У. Буш», находившегося на ходу;
- 28.08.2013 – заправка топливом в полете от танкера Boeing 707 самолета Learjet 25, который имитировал X-47B, так как был оснащен всеми соответствующими системами и программным обеспечением;
- 18.09.2013 – 100-й по счету полет;
- 10.11.2013 – начало испытаний по проверке совместимости цифровой системы управления авианосца с бортовой системой управления БЛА (подъем в воздух, прием, управление в полете и пр.);
- 10.04.2014 – первый полет в ночное время.

Фактически за год была выполнена программа приемочных испытаний, если применять терминологию российского стандарта системы разработки и постановки продукции на производство.

Конструктивно X-47B построен по схеме «летающее крыло» и не имеет хвостового оперения (рис. 4):

- размах крыла – 18,93 м, длина – 11,64 м, высота – 3,17 м;
- крейсерская скорость –  $M=0,9$ ;
- максимальная дальность – до 3889 км;
- полет без дозаправки – 6 ч;
- практический потолок – 12190 м;
- максимальная взлетная масса – 20 215 кг.



*UCLASS (Unmanned Carrier-Launched Airborne Surveillance and Strike)* – беспилотный палубный ударно-разведывательный аппарат

К 17 апреля 2014 г. ВМС США сформулировало техническое задание, которое оказалось доступным только четырем подрядчикам, которые в настоящее время принимают участие в программе UCLASS. Заказчику необходима БАС корабельного базирования, в которой было бы предусмотрено:

- возможность постоянного ведения разведки и наблюдения с использованием оптико-электронной и тепловизионной аппаратуры, а также систем радио- и радиотехнической разведки (SIGINT);

- наличие ограниченных ударных возможностей по поражению наземных целей;

- возможность дозаправки и приема топлива с других ЛА;

- способность действовать в контролируемом воздушном пространстве с возможностью модернизации в перспективе под требования для действий во враждебном воздушном пространстве.

Корпорация «Нортроп Грумман» предложила палубный аппарат, который будет создан на базе БЛА-демонстратора X-47В.

*CBARS (Carrier Based Aerial Refueling System)* – программа перспективного палубного БЛАЗ

ВМС США планировали выдать официальное техническое задание по программе UCLASS в 2016 финансовом году, принятие на вооружение перспективного аппарата, в случае возобновления финансирования программы, ожидается после 2023 г.

Как сообщает ресурс [news.usni.org](http://news.usni.org), ВМС США присвоили официальное обозначение RAQ-25 Stingray перспективному палубному БЛАЗ, предлагаемому к реализации в рамках программы Carrier Based Aerial Refueling System (CBARS). Проект CBARS появился на свет в результате решения руководства ВМС США в начале 2016 г. фактически положить конец программе реактивного ударно-разведывательного малозаметного палубного БЛА UCLASS.

ВМС США было принято решение отодвинуть на последнее место приоритет малозаметности при разработке новых палубных БЛА. Как сообщает издание Flightglobal (ежедневный информационный портал, <https://www.flightglobal.com>), при принятии на вооружение новые аппараты получают обозначение MQ-25 Stingray.

Финансирование проекта планировалось включить в военный бюджет на 2017 финансовый год (который начался 1 октября 2016 г.). Победитель конкурса на разработку палубного БЛАЗ будет определен в середине 2018 г., а первый серийный аппарат военные рассчитывают получить уже к 2021 г. В общей сложности на программу разработки MQ-25 планируется потратить до 2,2 млрд долл.

### **Заключение**

Зарубежный опыт создания систем управления БЛА, предназначенных для решения задач обеспечения действий военно-морских сил ВЗС, подтверждает высокую эффективность этого вида вооружения в условиях современных военных действий любой интенсивности. Дальнейшее совершенствование этих систем будет осуществляется путем улучшения тактико-технических характеристик бортового оборудования и наземных средств управления. Несмотря на некоторые проблемы применения БЛА, связанные с ограничением систем связи по передаче сигналов управления и развединформации, сложностью интеграции в единую систему управления воздушным движением и др., количество БЛА в военно-морских силах ВЗС, а также круг решаемых ими задач будут неуклонно возрастать.

*Статья подготовлена по материалам научно-исследовательской работы, выполненной ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по заданиям № 2.4263.2017/НМ и № 2.4260.2017/НМ Минобрнауки России на выполнение работ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.*

### Список литературы

1. Епишин К.В. и др. Политика и планирование в области разработки перспективных автономных роботизированных комплексов вооруженных сил ведущих зарубежных стран / Инноватика и экспертиза: научн. тр. М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. 2016. Вып. 3(18).
2. Available at: <http://www.modernarmy.ru/article/402/perspektivi-ispolzovaniya-bla-v-vms-ssha>.
3. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 № 138 «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации».
4. Defense Technical Information Center. Available at: <http://www.dtic.mil>.
5. Militarily Critical Technologies List – MCTL Under Secretary of Defense, Ac-quisition, Technology and Logistics Pentagon, VA, 2014.
6. DoD Unmanned Systems Integrated Roadmap, FY 2011-2036, 2011. Available at: <http://www.acq.osd.mil/sts/docs/Unmanned%20Systems%20Integrated%20Roadmap%20FY2011-2036.pdf>.
7. DoD Unmanned Systems Integrated Roadmap, FY 2013-2038, 2013. Available at: <http://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/DOD-USRM-2013.pdf>.

### References

1. Epishin K.V. et al. (2016) *Politika i planirovanie v oblasti razrabotki perspektivnykh avtonomnykh robotizirovannykh kompleksov vooruzhennykh sil vedushchikh zarubezhnykh stran* [Policy and planning in the field of development of perspective autonomous robotic complexes of the armed forces of leading foreign countries] *Innovatika i ekspertiza. Nauchn. tr. FGBNU NII RINKTsE* [Innovation and Expertise. Science Works SRI FRCEC], Moscow, vol. 3 (18).
2. Available at: <http://www.modernarmy.ru/article/402/perspektivi-ispolzovaniya-bla-v-vms-ssha>.
3. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 11.03.2010 No. 138 «Ob utverzhdenii Federal'nykh pravil ispol'zovaniya vozdušnogo prostranstva Rossiyskoy Federatsii»* [The Decree of the Government of the Russian Federation of 11.03.2010 No. 138 «On approval of the Federal Rules for the Use of the Airspace of the Russian Federation»].
4. Defense Technical Information Center. Available at: <http://www.dtic.mil>.
5. Militarily Critical Technologies List – MCTL Under Secretary of Defense, Ac-quisition, Technology and Logistics Pentagon, VA, 2014.
6. DoD Unmanned Systems Integrated Roadmap, FY 2011-2036 (2011). Available at: <http://www.acq.osd.mil/sts/docs/Unmanned%20Systems%20Integrated%20Roadmap%20FY2011-2036.pdf>.
7. DoD Unmanned Systems Integrated Roadmap, FY 2013-2038 (2013). Available at: <http://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/DOD-USRM-2013.pdf>.

## РАЗРАБОТКА И ТАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПО МАТЕРИАЛАМ ЗАРУБЕЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ

**И.М. Комаров**, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *komarovim@extech.ru*

**Д.В. Зернюков**, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *d255@yandex.ru*

**К.В. Епишин**, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, доц., *epishin@extech.ru*

**Е.Л. Хицунов**, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *hidi88@extech.ru*

**Д.Б. Изюмов**, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *izyumov@extech.ru*

**Е.Л. Кондратюк**, ст. науч. сотр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *kel@extech.ru*

*В статье рассмотрен опыт ведущих зарубежных стран по созданию систем управления и тактике применения гиперзвуковых летательных аппаратов.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, гиперзвуковой летательный аппарат, гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель, гиперзвуковая ракета, высокоточное оружие.

## DEVELOPMENT AND TACTICS OF APPLICATION OF HYPERSONIC AIRCRAFT BASED ON FOREIGN SOURCES

**I.M. Komarov**, Director of Centre, SRI FRCEC, *komarovim@extech.ru*

**D.V. Zernykov**, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, *d255@yandex.ru*

**K.V. Epishin**, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, Associate Professor, *epishin@extech.ru*

**E.L. Khitsunov**, Head of Department, SRI FRCEC, *hidi88@extech.ru*

**D.B. Izyumov**, Head of Department, SRI FRCEC, *izyumov@extech.ru*

**E.L. Kondratyuk**, Senior Researcher, SRI FRCEC, *kel@extech.ru*

*The article describes the experience of foreign countries in creation of control systems and tactics use of hypersonic aircraft.*

**Keywords:** Unmanned Aerial Vehicle, Air-Sea Battle, hypersonic aircraft, hypersonic ramjet engine, hypersonic missile, precision weapons.

### Список сокращений

БЛА – беспилотный летательный аппарат;

БРЛС – бортовая радиолокационная система;

ВЗС – ведущие зарубежные страны;

ВТО – высокоточное оружие;

ГЗЛА – гиперзвуковой летательный аппарат;

ГЗР – гиперзвуковая ракета;

ГПВРД – гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель;

КР – крылатая ракета;

ЛА – летательный аппарат;

М – число Маха;

ПВРД – прямоточный воздушно-реактивный двигатель;

ПВО/ПРО – противовоздушная и противоракетная оборона;

СВЧ – сверхвысокочастотное (оружие);

ЭПО – эффективная поверхность отражения;

ЭПР – эффективная площадь рассеяния.

## Введение

Анализ современного состояния и перспектив развития отечественной и зарубежной науки и техники свидетельствует о все большем возрастании роли высокоточного оружия (ВТО), особенно крылатых (КР) ракет большой дальности, беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и других перспективных видов средств поражения. В ведущих зарубежных странах (ВЗС) ведется интенсивная разработка высокоскоростных, высокоманевренных средств поражения, в частности, гиперзвуковых ракет (ГЗР) или в общем случае гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЗЛА).

Полет на гиперзвуковой скорости является вариантом сверхзвукового полета. Точное определение числа Маха ( $M$  – отношение скорости течения газового потока в данной точке к местной скорости распространения звука) для гиперзвукового потока газа затруднительно по причине отсутствия четкой границы между сверхзвуковым и гиперзвуковым потоками. Определение нижней границы гиперзвуковой скорости обычно связано с началом процессов ионизации потока газа и других физических изменений в пограничном слое около поверхности аппарата, который движется в атмосфере. Такие явления начинают происходить при скорости примерно равной  $5M$ , что соответствует интервалу скоростей летательного аппарата (ЛА)  $5380–6120$  км/ч в зависимости от плотности воздуха на разных высотах.

## Перспективы развития гиперзвуковой техники

В настоящее время реальным и естественным ограничением на пути дальнейшего совершенствования маневренных свойств как пилотируемых ЛА, так и систем их перехвата, является пилот.

В связи с этим, в ВЗС одним из наиболее перспективных направлений создания средств воздушно-космического нападения, органично сочетающим требования расширения боевых возможностей и повышения боевой эффективности применения, считается разработка ГЗР и ГЗЛА, оснащаемых современными системами дистанционного, полуавтономного, автономного и группового управления.

Применение ГЗЛА в военном деле позволяет получить ряд тактических преимуществ:

- значительное уменьшение подлетного времени к цели, и соответственно, снижение лимита времени на подготовку средств противовоздушной и противоракетной обороны (ПВО/ПРО) противника;
- широкие диапазоны высот боевого применения и перегрузок;
- невозможность эффективного применения противником средств перехвата на основе существующих методов наведения из-за недостаточной дальности обнаружения и сопровождения в существующих системах перехвата;
- низкая вероятность обнаружения ГЗЛА радиолокационными системами противника;
- превосходство динамических свойств ГЗЛА над существующими перехватчиками, что предопределяет необходимость противнику иметь средства перехвата аналогичного класса;
- возможность применения в условиях противодействия сильной системы ПВО/ПРО, предопределяющая снижение боевых потерь;
- универсальность применения, в том числе, для доставки оружия функционального поражения, например сверхвысокочастотного (СВЧ) оружия;
- дополнительный фактор поражения гиперзвуковым оружием обусловленный высокой энергией удара от гиперзвукового «снаряда» ( $E_K = m \cdot V^2$ , где  $m$  – масса «снаряда»,  $V$  – скорость движения «снаряда»). Физический объект, не снаряженный зарядом, ударяющий в цель на скорости  $8M$ , производит в 64 раза большее воздействие, чем такой же объект на скорости  $1M$  [1].

И самое важное, гиперзвуковое оружие вписывается в новую концепцию ведения войны Prompt Global Strike, PGS («Глобальный молниеносный удар»), позволяющую нанести удар по любой точке планеты в течение 1 часа.

В Исследовательской лаборатории ВВС США [2] (US Air Force Research Laboratory) в период до 2025 г. создание ГЗЛА нового поколения, оснащаемых эффективными системами управления и предназначенных для применения в воздушно-космическом пространстве, является одним из приоритетных научно-технических направлений развития Военно-воздушных сил США (рис. 1). По мнению командования ВС США [2], проекты в области создания ГЗЛА, могут существенно влиять на расстановку сил рынка вооружений.



Рис. 1. ГЗЛА в структуре приоритетных научно-технических направлений развития ВВС США

Формированием рынка ГЗЛА в ВЗС занимаются ведущие национальные лаборатории, в том числе, Сандийская национальная лаборатория, США. Данная лаборатория осуществляет серийный выпуск элементной базы и комплектующих аппаратных компонентов, используемых для создания новых видов ракетного оружия, в том числе, для гиперзвуковых ЛА. Эксперты лаборатории считают, что проекты ГЗЛА, изменяют правила игры не только для участников мирового рынка вооружений, но и для участников реальных боевых действий [3].



### Анализ состояния технического потенциала ВЗС в области гиперзвуковой техники

Наряду с «традиционными» военными ГЗЛА, такими как зенитные ГЗР и входящие в плотные слои атмосферы головные части баллистических ракет, в последнее время в ВЗС стали появляться проекты гиперзвуковых систем двойного назначения.

Технологические достижения в сфере создания гиперзвуковой техники, включают инновационные проекты в авиастроении, приборостроении, машиностроении, радиостроении; производстве новых материалов; микро-, нано-, информационных и коммуникационных технологиях, космических исследованиях и т. д.

Проекты авиационно-космических систем ВЗС, которые связаны с гиперзвуком можно разделить на следующие типы:

- многоразовые космические корабли;
- пассажирские лайнеры-космопланы;
- гиперзвуковые разгонные ступени;
- гиперзвуковые орбитальные ступени космопланов;
- гиперзвуковые транспортные космопланы;
- одноступенчатые аэрокосмические космолеты;
- испытательные гиперзвуковые самолеты;
- беспилотные летательные аппараты.

Некоторые перспективные инновационные проекты из перечисленных выше типов представлены на рис. 2–10.

Экспериментальный беспилотный космический корабль многоразового использования Boeing X-37B Orbital Test Vehicle (OTV) (орбитальная летающая лаборатория, США) представляет собой космоплан, предназначенный для полетов на высотах 200–750 км. Его отличительная характеристика – при относительно небольших габаритах, он способен быстро менять орбиты, маневрировать (рис. 2).

Boeing X-43 – беспилотный экспериментальный ГЗЛА, США (рис. 3). В успешно проведенных в ноябре 2004 г. испытаниях достиг рекордной скорости  $V = 11\,200$  км/ч ( $M = 9,6$ ;  $V = 3,2$  км/с).



Рис. 2. Boeing X-37B



Рис. 3. Boeing X-43

X-51A Waverider (США) – гиперзвуковая крылатая ракета, которая 01.05.2013 прошла успешные испытания над Тихим океаном. Она была запущена с борта самолета В-52 и достигла высоты 18200 м, где развила скорость 5,1 М. За 6 мин ракета пролетела расстояние в 426 км (рис. 4).



Рис. 4. Boeing X-51A Waverider



Рис. 5. Skylon

Skylon (Великобритания, США) — космолет многоразового использования (рис. 5), с помощью которого планируется доставлять в космос приблизительно 12 т груза (на низкую экваториальную орбиту).

SHEFEX (SHarp Edged Flight EXperiment, дословно «Экспериментальный летательный аппарат многогранной формы»), ФРГ — суборбитальный беспилотный гиперзвуковой ракетоплан, который, по замыслу разработчиков, не будет нуждаться в ремонте после каждого приземления. SHEFEX II будет управляемым уже на высоте 100 км. При посадке на высоте 20 км аппарат выпускает посадочный парашют (рис. 6).

Falcon HTV-2 (Hypersonic Test Vehicle) — гиперзвуковое средство доставки (DARPA и ВВС США), предназначенный для полета в атмосфере с гиперзвуковой скоростью. Предполагаемые значения скорости полета по низкой орбите или в верхних слоях атмосферы — 17–22 М (5,8–7,5 км/с). Размах крыла-фюзеляжа в хвостовой части — до 2,34 м. Масса — не более 1725 кг. Ожидаемый аэродинамический разогрев поверхности до 1930 °С (рис. 7).



Рис. 6. SHEFEX



Рис. 7. Falcon HTV-2

Для АНВ (Advanced Hypersonic Weapon, перспективное гиперзвуковое оружие) — высокоточного управляемого (маневрирующего) боевого блока декларируется возможность поражения целей боевыми частями в обычном (неядерном) снаряжении, находящихся на дальностях до 6000 км, с доставкой за 30–35 мин от момента пуска. При этом ожидается, что точность попадания в цель будет не хуже 10 м. По некоторым сведениям поражение

цели в случае АНВ будет осуществляется в результате кинетического воздействия летящего с высокой гиперзвуковой скоростью боевого блока (рис. 8).

XS-1 представляет собой перспективный многоразовый гиперзвуковой космический БЛА (США). Он может использоваться в качестве разведчика, перехватчика, бомбардировщика. Это относительно недорогая альтернатива «традиционным» ракетам-носителям при выводе аппаратов на орбиту (рис. 9).



Рис. 8. АНВ



Рис. 9. XS-1

Гиперзвуковой боевой блок WU-14/DF-ZF китайского производства предназначен для преодоления мощной системы ПВО/ПРО вероятного противника. Имеются сообщения о нескольких успешных испытаниях китайских ГЗР подобного класса. Боевая головка отделяется от баллистического ракетного носителя на высоте около 100 км и поражает цель со скоростью около 10 М (рис. 10).



Рис. 10. WU-14

Об основных направлениях создания ГЗЛА и масштабах их финансирования за рубежом можно судить по открытым данным фискальных бюджетных планов, в частности, Агентства по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США (DARPA) в последние годы, например, FY2014, FY2015, FY2016 [4, 5].

### **Основные тенденции, определяющие развитие военно-технического и научно-технологического потенциала ВЗС**

К основным мировым тенденциям, определяющим развитие систем управления для ГЗЛА можно отнести следующие:

1) Общесистемные тенденции развития военно-технического противоборства, которые характеризуются:

- постоянным усилением роли бесконтактных способов боевых действий, направленных на снижение человеческих потерь, что приводит к возрастанию роли различных типов ракет и БЛА;

- сетцентрическим характером информационно-управляющих связей в процессе ведения боевых действий, что предопределяет возможность их нарушения, в первую очередь, за счет использования ГЗЛА или ГЗР, перехватить которые существующими средствами ПВО практически невозможно;

- возрастанием роли групповых действий средств нападения и защиты, вплоть до эффекта «роя», что требует применения высокоскоростных и маневренных средств противодействия, к которым относятся ГЗР и ГЗЛА;

- возрастанием значения возможности преодоления системы ПВО/ПРО противника ГЗЛА в качестве средств доставки ВТО;

- требованием существенного сокращения времени между моментами применения оружия и поражения целей, которое предопределяет необходимость применения ГЗР, особенно на больших расстояниях.

2) Тенденции развития летательных аппаратов 5-го и 6-го поколений:

- обеспечение гиперзвуковой скорости ЛА становится в международном сообществе одним из общепризнанных базовых признаков отнесения разработчиками новых ЛА к 6-му поколению;

- создание защищенных от перехвата, глобальных систем дистанционного поражения гиперзвуковыми БЛА расширяет географические зоны их применения, особенно тяжелых ударных и беспилотных ГЗЛА космического базирования;

- развитие систем управления автономными КР и дистанционно управляемыми БЛА на принципах искусственного интеллекта обеспечивает повышение их боевой эффективности, улучшение показателей живучести;

- формирование групп ЛА, функционирующих в режиме «роя»;

- возрастание актуальности разработки и принятия на вооружение новых типов сверхманевренных и гиперзвуковых ЛА, а также беспилотных боевых истребителей 6-го поколения с помощью которых, воздействие на противника может происходить за считанные секунды.

3) Научно-технические достижения в производстве авиационных двигателей.

4) Создание новых высокопрочных и жаростойких материалов:

- появление и использование высокопрочных легких и жаростойких материалов для производства элементов конструкции гиперзвуковой техники (фюзеляжей, плоскостей, рулевых поверхностей и т.п.) позволяет существенно уменьшать эффективную площадь рассеяния (ЭПР) и общий вес ЛА.

5) Переход промышленности к 5-му и 6-му технологическим укладам:

- массовое появление на рынке микроэлектроники с технологическим масштабом порядка 10–100 нм, в общем случае, делает высокопроизводительные полупроводниковые радиоэлектронные системы весьма уязвимыми к воздействию мощного излучения. Вследствие этого боевая часть ГЗР, наряду с обычными боеприпасами, может оснащаться также средствами СВЧ-оружия;

- выпуск на рынок недорогих высоковольтных устройств [3] на основе полупроводников с рабочим напряжением более 1 кВ и с возможностью последовательного их включе-



ния в пакеты с рабочим напряжением порядка 100 кВ открывает новые возможности в разработке малогабаритных мощных бортовых средств связи с системой кодирования информации для защищенного от помех дистанционного управления бортовой аппаратурой ГЗЛА;

– выпуск промышленностью эффективных малогабаритных быстродействующие источников энергии большой мощности.

### **Основные направления разработки гиперзвуковой техники и тактики ее применения в ВЗС**

Развитие науки и технологий в области разработки гиперзвуковой техники характеризуется:

– необходимостью проведения многолетних и дорогостоящих исследований;

– необходимостью обеспечения конкурентных преимуществ в области гиперзвуковых систем.

Основные достижения в разработках гиперзвуковой техники в ВЗС определяются возможностью:

– создания новых гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей (ГПВРД);

– производства и использования высокопрочных легких и жаростойких материалов для высокотехнологичного и экономически эффективного производства элементов конструкции (фюзеляжей, плоскостей и т. п.);

– существенного уменьшения ЭПР и общего веса;

– размещения на борту максимально мощной боевой части.

Отсутствие пилота на борту ГЗЛА обуславливает следующие возможности:

– ненужность сложных систем жизнеобеспечения, систем аварийного покидания и как следствие экономия веса, увеличение запаса горючего и дальности действия, увеличение боезапаса;

– увеличение маневренности, благодаря расширению диапазона допустимых перегрузок и, как следствие, возможности применения предельных (по прочности конструкции) вариантов непосредственного управления;

– снижение требований к надежности функционирования (наработке на один отказ) и простоту обслуживания.

Тактика применения управления гиперзвуковой техникой может предусматривать следующие варианты боевого применения:

– применение ГЗР для перехвата ГЗЛА противника;

– ГЗР (ГЗЛА) для преодоления системы ПВО/ПРО противника, в которой оказываются задействованными ГЗР-перехватчики;

– использование ГЗР (ГЗЛА) в режиме одиночных пусков, а также одномоментных последовательных запусков.

Возможные варианты управления гиперзвуковой техникой:

– управление группой ГЗР с пилотируемого самолета;

– управление с авиационного комплекса радиолокационного дозора и наведения;

– наведение группы ГЗР с наземного пункта управления;

– комбинирование этапов дальнего (командного) наведения с пункта управления и ближнего наведения (самонаведения).

### **Особенности решения задач траекторного управления и наведения в условиях гиперзвукового обтекания**

Из-за существенного расширения маневренных и скоростных возможностей ГЗЛА существующие методы наведения перехватчиков на сверхзвуковые воздушные цели уже не могут удовлетворять требованиям, предъявляемым к перехвату гиперзвуковых целей.



Основными требованиями, предъявляемыми к методам наведения ГЗР-перехватчика, являются:

- инвариантность к условиям применения (перехват в передней полусфере, задней полусфере, на различных высотах и скоростях и т. п.);
- обеспечение максимально возможной дальности перехвата при минимальных расходах энергии, затрачиваемой на управление;
- сопряжение методов командного наведения и самонаведения, обеспечивающее переход из одного режима в другой без существенных переходных процессов, которые на пилотируемых ЛА парируются летчиком.

Независимо от способа вывода ГЗР или ГЗЛА системой управления на рубеж применения средств поражения, необходимо учитывать специфические особенности аэродинамики подобных аппаратов, обусловленные видом нанесенного на поверхность корпуса специального защитного покрытия. Задача учета системой управления вида специального покрытия корпуса в ВЗС решалась различными способами.

Поверхность многоразового орбитального корабля «Спейс Шаттл» (США), при возврате которого с орбиты на землю спуск в верхних слоях атмосферы осуществлялся с гиперзвуковой скоростью, была покрыта теплозащитными плитками, изготовленными из специального материала, защищающими поверхность корабля от аэродинамического нагрева во время прохождения через атмосферу.

Подобное решение неприемлемо для малогабаритных реактивных снарядов, используемых в условиях земной атмосферы на малых высотах (до 5–10 км), так как увеличивает массу конструкции и увеличивает лобовое сопротивление.

Реактивный снаряд может разогнаться до скорости 5–6 М примерно за 12 с. Исходя из соображений термозащиты, вся внешняя поверхность снаряда покрыта специальным абляционным материалом, который, испаряясь при высоких температурах, охлаждает находящиеся под ним поверхности, в том числе, обтекатель, закрывающий локационную станцию. Подобная защита эффективна для ЛА большой дальности действия с большим временем полета, в которых используется самонаведение или радиокомандная система управления.

Конструкция с абляционной защитой мало приемлема для малогабаритных ГЗР малой дальности с малым временем полета и системами теленаведения, работающими в оптическом диапазоне. Это объясняется тем, что при разгоне ГЗР до заданной максимальной скорости поверхность защитного покрытия достигает температуры плавления и испарения, при которой абляционная защита наиболее эффективна только к моменту окончания работы двигателя. До момента начала плавления и испарения покрытие скалывается, расщепляется и расслаивается из-за возникающих в нем термических напряжений. Это приводит к возникновению оптических помех, которые возрастают после начала испарения защитного материала с поверхности.

В процессе гиперзвукового полета наружный слой системы теплозащиты постепенно разрушается, что приводит к росту потерь на трение при обтекании внешней поверхности снаряда, снижению максимальной скорости снаряда и дальности.

Физические явления, возникающие при достижении гиперзвуковой скорости, характеризуются:

- формированием тонкого слоя ударной волны;
- образованием вязких ударных слоев;
- появлением волн неустойчивости в пограничном слое около ЛА, не свойственных дозвуковым и сверхзвуковым потокам;
- образованием высокотемпературного потока.

С учетом сказанного, решение задач траекторного управления (наведения) ГЗЛА возможно осуществлять с одновременным (синхронным) выполнением следующих функций управления [6, 7]:

- своевременного обеспечения радиолокационной информацией об обнаружении, идентификации и сопровождении гиперзвуковой цели;
- управления концентрацией, химическим составом и температурой плазмы в тонком слое вокруг фюзеляжа;
- управления параметрами полета с помощью рулевых поверхностей;
- управления гиперзвуковым двигателем. Определение нижней границы гиперзвуковой скорости обычно связано с началом процессов, которые характеризуются тем, что обычный турбореактивный (ТРД) и прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД) с дозвуковым сгоранием топлива становятся низкоэффективными из-за чрезвычайно высокого трения, которое возникает при торможении проходящего через двигатель воздуха. В гиперзвуковом диапазоне скоростей для продолжения полета возможно использование только ракетного двигателя или ГПВРД со сверхзвуковым сгоранием топлива.

### **Заключение**

Приоритетные научно-технологические направления развития гиперзвуковой техники определяются тем, что эффективное применение перспективных ГЗЛА невозможно без решения некоторых фундаментальных и прикладных задач в области физики и химии, а также совершенствования оперативного искусства и тактики ВВС.

К фундаментальным научным направлениям можно отнести:

- разработка способов оптимизации взаимодействия воздушных потоков и тонкого слоя плазмы вблизи фюзеляжа и плоскостей ГЗЛА;
- создание алгоритмов устойчивого маневрирования ГЗЛА на гиперзвуковых скоростях в условиях турбулентности воздушных потоков;
- разработка математического аппарата синтеза управления группами воздушных объектов с оптимизацией коллективных интересов;
- разработка теории игровых методов управления ГЗЛА.

Специфические особенности ГЗР и ГЗЛА определяют ряд теоретических и прикладных проблем, которые необходимо решать при разработке эффективных систем управления для ГЗР. К подобным проблемам относятся:

- необходимость разработки новых методов управления, соответствующих по своим динамическим свойствам ГЗЛА и способных реализовать рабочие перегрузки, во много раз превышающие возможности человека;
- потребность в создании новых универсальных методов наведения, обеспечивающих эффективное всеракурсное наведение ГЗР на различные виды целей, в том числе на ГЗЛА противника, на больших и малых дальностях;
- необходимость разработки новых тактических приемов боевого применения групп ГЗР при перехвате ГЗЛА противника;
- необходимость разработки новых тактических приемов боевого применения групп ГЗЛА при преодолении зоны ПВО/ПРО противника, в которой противоборствующей стороной применяются ГЗР-перехватчики;
- усложнение проблем обмена информационными потоками в системах управления ГЗР, обусловленное не только их групповым применением, но и необходимостью согласования информационного обмена в системах обнаружения и сопровождения различной дальности и различного базирования;
- потребность в значительном увеличении дальности действия, диапазона скоростей, ускорений и высокой точности траекторного управления по линейным и угловым координатам.

*Статья подготовлена по материалам научно-исследовательской работы, выполненной ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по заданиям № 2.4263.2017/НМ и № 2.4260.2017/НМ Минобрнауки России на выполнение работ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.*

### **Список литературы**

1. Available at: [http://nnm.me/blogs/lurfl/giperzvukovoe\\_oruzhie](http://nnm.me/blogs/lurfl/giperzvukovoe_oruzhie).
2. United States Air Force Mission (Миссия Военно-воздушных сил США). Available at: [http://www.indiagulfcoast.com/events/archive/40th\\_Symposium/AFRLAAS2014.pdf](http://www.indiagulfcoast.com/events/archive/40th_Symposium/AFRLAAS2014.pdf).
3. Game-changing projects with a high degree of technical risk realized and produced in support of the warfighter (Проекты, изменяющие правила игры, для участников боевых действий с высоким техническим риском). Available at: <http://www.sandia.gov/ims/projects/index.html>.
4. Агентство по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам США (DARPA). Available at: <http://www.darpa.mil>.
5. Fiscal Year (FY) 2015 Budget Estimates. Defense Wide Justification Book. Vol. 1 of 5. (Финансовый 2015-й год. Перечень обоснований бюджетных заявок Конгрессу. Т. 1, изд. 5.). Available at: [http://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2015/budget\\_justification/pdfs/03\\_RDT\\_and\\_E/1\\_RDTE\\_MasterJustificationBook\\_Defense\\_Advanced\\_Research\\_Projects\\_Agency\\_PB\\_2015%20\\_Vol\\_1.pdf](http://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2015/budget_justification/pdfs/03_RDT_and_E/1_RDTE_MasterJustificationBook_Defense_Advanced_Research_Projects_Agency_PB_2015%20_Vol_1.pdf).
6. Scatter Pattern Calculations and Determination Performance Limitations of Existing Air Defense Systems for Intercepting Hypersonic Vehicles. Available at: <http://ieee.org>.
7. Меркулов В.И., Дрогалин В.В., Миляков Д.А. Проблемы перехвата гиперзвуковых летательных аппаратов. Журнал «Фазотрон». М., ОАО «Корпорация «Фазотрон – НИИР», № 3(19), 2012. С. 52–53.

### **References**

1. Available at: [http://nnm.me/blogs/lurfl/giperzvukovoe\\_oruzhie](http://nnm.me/blogs/lurfl/giperzvukovoe_oruzhie).
2. United States Air Force Mission. Available at: [http://www.indiagulfcoast.com/events/archive/40th\\_Symposium/AFRLAAS2014.pdf](http://www.indiagulfcoast.com/events/archive/40th_Symposium/AFRLAAS2014.pdf).
3. Game-changing projects with a high degree of technical risk realized and produced in support of the warfighter. Available at: <http://www.sandia.gov/ims/projects/index.html>.
4. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Available at: <http://www.darpa.mil>.
5. Fiscal Year (FY) (2015) Budget Estimates. Defense Wide Justification Book. Vol. 1 of 5. Available at: [http://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2015/budget\\_justification/pdfs/03\\_RDT\\_and\\_E/1\\_RDTE\\_MasterJustificationBook\\_Defense\\_Advanced\\_Research\\_Projects\\_Agency\\_PB\\_2015%20\\_Vol\\_1.pdf](http://comptroller.defense.gov/Portals/45/Documents/defbudget/fy2015/budget_justification/pdfs/03_RDT_and_E/1_RDTE_MasterJustificationBook_Defense_Advanced_Research_Projects_Agency_PB_2015%20_Vol_1.pdf).
6. Scatter Pattern Calculations and Determination Performance Limitations of Existing Air Defense Systems for Intercepting Hypersonic Vehicles. Available at: <http://ieee.org>.
7. Merkulov V.I., Drogalin V.V., Milyakov D.A. (2012) *Problemy perekhvata giperzvukovykh letatel'nykh apparatov* [The problems of interception of hypersonic aircraft] *OAO «Korporatsiya «Fazotron – NIIR»* [JSC «Corporation» Phazotron – Research Institute for Radio Engineering] *Zhurnal «Fazotron»* [The magazine «Phazotron»], No. 3 (19), pp. 52–53.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE

FEDERAL INSTITUTION «RESEARCH INSTITUTE – FEDERAL RESEARCH CENTRE  
FOR PROJECT EVALUATION AND CONSULTING SERVICES»

(SRI FRCEC)

**INNOVATICS AND EXPERT EXAMINATION**

**SCIENTIFIC PROCEEDINGS**

**ISSUE 1(19)**

**MOSCOW 2017**

**ИННОВАТИКА И ЭКСПЕРТИЗА**

**Научные труды**

**1(19)**

Ответственный редактор *А.А. Тугаринов*

Компьютерная верстка *А.А. Тугаринов*

Сдано в набор 02.03.17. Подписано в печать 30.03.17.

Формат 205×287. Бумага 80 г/м<sup>2</sup>.

Тираж 100. Заказ № 15.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Научно-исследовательский институт —  
Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы»  
Москва, ул. Антонова-Овсеенко, д. 13